



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de una cubierta verde como sistema de drenaje urbano sostenible

Eduardo Alfonso León Fandiño

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Área curricular de ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá D.C., Colombia

2014

Evaluación de una cubierta verde como sistema de drenaje urbano sostenible

Eduardo Alfonso León Fandiño

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería – Recursos Hidráulicos

Director:

Pedro Mauricio Avellaneda López, Ph.D

Línea de Investigación:

Hidrología y Meteorología

Grupo de Investigación en

Ingeniería de recursos hídricos (GIREH)

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Área curricular de ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá D.C., Colombia

2014

*A mis padres que con su apoyo continuo han
hecho de mi una extensión de vida y reflejo de sus
ilusiones y metas.*

Agradecimientos

Es imposible expresar con palabras todo el agradecimiento y amor que tengo por mis padres, mi hermana, mi agüe y mi familia. Que durante este proceso de conocimiento me han apoyado, motivado y dado fuerzas para desarrollar esta investigación, los amo inmensamente. De igual forma quiero expresar mi más grande agradecimiento a mi novia Ángela Hernández, mi confidente, mi amor, mi sendero, mi apoyo incondicional y sobre todo mi siempre polo a tierra. Te amo.

Al ingeniero Pedro Mauricio Avellaneda López director de la presente investigación, quiero agradecerle por su apoyo constante, su acompañamiento para la búsqueda de financiación, sus acertadas directrices para el enfoque de la investigación, su colaboración para la adquisición de los equipos de medición y sobre todo, por aceptarme como su tesista.

También quiero agradecerle a la empresa Biotectónica por su colaboración con el suministro de los sustratos evaluados en los sistemas de cubiertas verdes instalados sobre los que se desarrolla el presente documento.

A la empresa Yarda Construcciones por su apoyo económico para la instalación de los prototipos.

Al Sr. Raúl Bernal, laboratorista del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia quien me apoyó en el montaje de los prototipos de cubiertas verdes.

A la Dirección de Ingeniería Especializada de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, por su financiación en la evaluación de los determinantes de calidad del agua.

A la Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial de la Secretaría Distrital de Ambiente, por su apoyo inicial para el desarrollo de la investigación.

A mis amigos del laboratorio de ensayos hidráulicos y al grupo de investigación GIREH, así como a los profesores de la Maestría en Ingeniería de Recursos Hidráulicos quienes me han aportado en esta etapa de crecimiento personal y profesional.

Eduardo Alfonso León Fandiño

Resumen

La ciudad de Bogotá presenta problemas de drenaje urbano ocasionados por los excesos de precipitación que no son evacuados adecuadamente. En el contexto de esta problemática, existe una variedad de alternativas para el control de estos excesos: los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS). En esta tesis se investigan las cubiertas verdes (CV) como alternativa para el control de la escorrentía urbana. Las CV se clasifican como intensivas o extensivas, dependiendo de su vegetación, tipo y profundidad de sustrato. Para el caso de esta investigación se implementaron helechos y sedums, por ser un tipo de vegetación resistente a cambios de temperatura, adaptabilidad a condiciones extremas del clima como periodos de invierno y sequía, y por su capacidad de sobrevivencia en sustratos áridos similares a aquellos con materiales reciclados de la construcción.

En cuanto al sustrato seleccionado para las CV, se utilizaron materiales reciclados de la construcción, tales como ladrillo triturado, arena de río, humus, tierra, escoria de carbón y cascarilla de arroz. La selección de estos materiales se realizó teniendo en cuenta el uso potencial de materiales derivados de la construcción como sustrato en la instalación de SUDS. Estos materiales provienen de los escombros que se generan en la ciudad de Bogotá y esta es una alternativa para la disminución del volumen de estos residuos al darles una vida útil.

El periodo de recolección de información fue desde el 3 de marzo de 2012 hasta el 5 de mayo de 2013, periodo durante el cual se logró capturar un total de 35 tormentas. Los resultados de los eventos de precipitación se evaluaron para 4 cubiertas verdes (2 sedums y 2 helechos) con inclinaciones del 2% y 5%; la cubierta de comparación fue una en policarbonato con una pendiente del 2%. En promedio, se registró un 75% de capacidad de atenuación máxima en las cubiertas intensivas (helechos) y un 64% en las extensivas (sedums). La evaluación estadística de los resultados observados se realizó con la prueba

ANOVA, y se encontró una diferencia estadística entre el control y las cubiertas verdes para un nivel de significancia del 5% (valor- $p < 0.05$).

En el desarrollo de la modelación numérica, a través del Cálculo Aproximado Bayesiano (CAB), se definieron las densidades de probabilidad características de los parámetros de contenido volumétrico de agua residual (θ_r), contenido volumétrico de saturación (θ_s), conductividad hidráulica en estado de saturación (K_s) y los parámetros (α) y (n) particulares de los sustratos instalados. Para propósitos de modelación numérica se propone la implementación del Índice de Retención de Humedad (IRH) como mecanismo de calibración del modelo de flujo propuesto.

Palabras clave: Sistema de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS), cubiertas verdes, Cálculo Bayesiano Aproximado (CBA), atenuación de caudales, índice de retención de humedad (IRH), calidad del agua, materiales reciclados de construcción, biosólido.

Abstract

Bogotá presents urban drainage problems caused by excessive precipitation which is not adequately evacuated. In the context of this problem, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) represent an alternative to reduce storm water excesses. In this thesis, green roofs (GR) are investigated as an alternative to urban runoff management. GR are classified as intensive or extensive, depending on the vegetation, substrate type and depth. For the case in hand, ferns and sedums were implemented for being a type of vegetation resistant to temperature changes, adapting to extreme weather conditions such as drought and winter periods, and because of their ability to survive on dry substrates like those with recycled construction.

Recycled construction materials, also known as construction waste material, were used as the substrate selected for the CV such as: crushed brick, river sand, humus, soil, coal slag and rice husk. These materials were selected considering the potential use of materials from construction as a substrate in the installation of SUDS. These materials come from rubbles originated in the city of Bogotá and this is an alternative to reduce its volume by giving it a useful purpose.

The study period was from March 3, 2012 to May 5, 2013, and a total of 35 precipitation events were captured. The events were evaluated for 4 green roofs (2 sedums and 2 ferns) with slopes of 2% and 5%; and a polycarbonate roof with a slope of 2% was used for comparison purposes. On average, we found a 75% peak flow reduction for intensive roofs (ferns) and a 64% peak flow reduction for extensive roofs (sedums). An ANOVA test was performed to evaluate statistical differences among green roofs and the polycarbonate roof. We found only a statistical difference between the green roofs and the polycarbonate roof for a significance level of 0.05 ($p\text{-value} < 0.05$).

A numerical model was developed to estimate effluent flows from the green roofs. The model was calibrated through an Approximate Bayesian Computation (ABC) statistical approach. Posterior probability distributions for the unsaturated soil parameters (θ_r , θ_s , α , n , K_s , γ σ) are reported. We proposed the water retention index (WRI) as a hydraulic signature to capture the flow dynamics within the green roof soils.

Keywords: Sustainable Urban Drainage System (SUDS), green roofs, Approximate Bayesian Computation (ABC), flow attenuation, Water Retention Index (WRI), water quality, construction waste materials, recycled construction materials, biosolids.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de Figuras	XV
Lista de Tablas	XVII
Lista de Símbolos	XVIII
Lista de Abreviaturas	XIX
Introducción	21
1. Justificación	23
1.1 Pregunta de investigación	24
1.1.1 Objetivo General.....	24
1.1.2 Objetivos específicos.....	24
1.2 Mapa del documento.....	25
2. Sistemas de drenaje urbano sostenible	26
2.1 Componentes y clasificaciones generales de las cubiertas verdes.	28
2.2 Propiedades de almacenamiento temporal de una cubierta verde.....	31
2.3 Calidad del agua en la descarga de las cubiertas verdes.....	32
3. Cubiertas verdes y programa de monitoreo	34
3.1 Cubiertas verdes	34
3.1.1 Instalación de cubiertas verdes.....	35
3.1.2 Equipos.....	42
3.2 Sustratos de las cubiertas verdes	44
3.2.1 Sustrato con materiales reciclados de la construcción.....	44
3.2.2 Sustrato de Biosólido.....	45
3.3 Clasificación de los sustratos	46
3.4 Monitoreo de las cubiertas verdes	50
3.4.1 Procedimiento para la determinación de variables con los equipos medición instalados.....	51
3.4.2 Eventos de tormentas.....	52
3.4.3 Definición de determinantes de calidad	54
4. Simulación de flujo en la zona parcialmente saturada.....	55
4.1 Conceptos generales.....	55
4.2 Algoritmo de optimización	62

5. Resultados y análisis	64
5.1 Monitoreo de la escorrentía.....	64
5.1.1 Resumen y análisis de resultados	74
5.2 Modelación numérica	83
5.3 Calidad del agua.....	90
6. Conclusiones y recomendaciones	95
6.1 Conclusiones	95
6.2 Recomendaciones.....	99
Bibliografía	103
Anexo A. Clasificación de los sustratos.....	107
Anexo B. Curvas de retención de humedad.....	119
Anexo C. Eventos de tormentas monitoreados	123
Anexo D. Contenidos de humedad registrados.....	150
Anexo E. Calidad del agua	162

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 6-1: Inundación de la Avenida Caracas con calle primera	21
Figura 1-2: Desbordamiento del río Bogotá en la vía Bogotá-Cota.....	21
Figura 2-1: Esquema general de una cubierta verde (T. Carter & Keeler, 2008).	29
Figura 2-2: Edificio ACROS Fukuoka-Japón.....	30
Figura 2-3: Chicago City Hall, Estados Unidos de América.	30
Figura 3-1: Ubicación de los modelos de cubiertas verdes en la Universidad Nacional de Colombia. (imagen digital de Google Earth).	34
Figura 3-2: Construcción de muros y cajas en mampostería.....	36
Figura 3-3: Instalación de la lámina metálica de soporte y para el limite perimetral.	36
Figura 3-4: Instalación de las láminas drenantes y sellante para hermeticidad de las cubiertas.	37
Figura 3-5: Instalación del geotextil no tejido NT2000, sustrato y siembra de vegetación.	38
Figura 3-6: Cubiertas verdes extensivas con sedums (a), intensivas con Helechos (b) y control del 2% (d).	39
Figura 3-7: Cubiertas verdes extensivas (Cintas, superior izquierda), intensivas (Granizos, superior derecha) y control del 5%.....	40
Figura 3-8: Instalación de cubiertas verdes con BIOSÓLIDO.....	41
Figura 3-9: Montaje de cubiertas verdes en la playa de modelos de la UNAL	42
Figura 3-10: Pluviómetro marca Davis.	43
Figura 3-11: Datalogger DECAGON EM50.....	43
Figura 3-12: Instalación para la medición de flujo y calidad del agua.	44
Figura 3-13: Curva Granulométrica de la cobertura de Helechos	47
Figura 3-14: Curva Granulométrica de la cobertura Sedums	48
Figura 3-15: Curva Granulométrica de la cobertura Granizos.....	48
Figura 3-16: Curva Granulométrica de la cobertura Cintas	49
Figura 3-17: Curva Granulométrica de la cobertura Biosólido	49
Figura 3-18: Cubiertas verdes con cintas, a) estado inicial 2012 y b) estado final 2013..	50
Figura 4-1: Curva de retención de humedad	56
Figura 4-2: Balance del volumen de control en la zona parcialmente saturada	57
Figura 4-3: Condiciones de frontera para la modelación numérica.....	59
Figura 4-4: Esquema de la malla de elementos finitos	59
Figura 4-5: Propiedades de la malla de elementos finitos	60
Figura 4-6: Sensor de contenido de humedad.....	61
Figura 4-7: Puntos para el monitoreo del contenido inicial de humedad	62

Figura 5-1: Hidrógrafas de salida de la tormenta 26-03-2012	65
Figura 5-2: Curva adimensional de precipitación, tormenta 26-03-2012	67
Figura 5-3: Hidrógrafas de salida de la tormenta del 10-04-2012	68
Figura 5-4: Curva adimensional de precipitación, tormenta 10-04-2012	70
Figura 5-5: Hidrógrafas de salida de la tormenta del 08-02-2013	71
Figura 5-6: Curva adimensional de precipitación, tormenta 08-02-2013	72
Figura 5-7: Hidrógrafas de salida de la tormenta del 04-05-2013	73
Figura 5-8: Diagramas de cajas de caudales máximos de las cubiertas	76
Figura 5-9: Diagramas de cajas de volúmenes de las cubiertas	78
Figura 5-10: Diagramas de cajas de tiempo de retardo de las cubiertas.....	80
Figura 5-11: Diagramas de cajas del porcentaje de reducción de las cubiertas.....	82
Figura 5-12: Tormenta para validación 2013-03-17.....	84
Figura 5-13: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de helechos y pendiente del 5%.	85
Figura 5-14: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de helechos y pendiente del 2%.	86
Figura 5-15: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de sedums y pendiente del 2%.	87
Figura 5-16: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de sedums y pendiente del 5%.	88
Figura 5-17: Simulación evento de tormenta 2012-03-24	89
Figura 5-18: Simulación evento de tormenta 2013-03-18	89
Figura 5-19: Simulación evento de tormenta 2013-05-02	89
Figura 6-1. Abejas en las bocas de los pluviómetros.	98
Figura 6-2. Estructura de protección de erosión del sustrato en el frente de la cubierta.	100
Figura 6-3. Remoción de vegetación intrusiva.....	100
Figura 6-4. Cubierta verde con Cintas muertas, Granizos y Sedums transportados.....	101

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Resultados de retención en cubiertas verdes evaluadas en investigaciones (Czemiel Berndtsson, 2010).	28
Tabla 2-2: Espesores de cubiertas verdes intensivas y extensivas (Czemiel Berndtsson, 2010)	31
Tabla 3-1: Combinación tipo de cubierta verde e inclinación instaladas.....	35
Tabla 3-2: Distribución materiales de sustratos con materiales reciclados de la construcción para cubiertas verdes extensivas con sedums.....	45
Tabla 3-3: Distribución materiales de sustratos con materiales reciclados de la construcción para cubiertas verdes intensivas con helechos y granizos	45
Tabla 3-4: Resumen de resultados de clasificación de sustratos	50
Tabla 3-5: Eventos de tormentas seleccionadas.	53
Tabla 3-6: Determinantes de calidad del agua evaluados en la descarga de cada cubierta.	54
Tabla 5-1: Resumen de resultados tormenta 26-03-2012	66
Tabla 5-2: Resultados del 60% del tiempo para la tormenta de 26-03-2012.....	67
Tabla 5-3: Resumen de resultados tormenta 10-04-2012	69
Tabla 5-4: Resultados del 60% del tiempo para la tormenta de 10-04-2012.....	69
Tabla 5-5: Resumen de resultados tormenta 08-02-2013	71
Tabla 5-6: Resultados del 60% del tiempo para la tormenta de 08-02-2013.....	72
Tabla 5-7: Resumen de resultados tormenta 04-05-2013.....	73
Tabla 5-8: Valores promedio de parámetros de comparación	74
Tabla 5-9: Resumen de resultados para cada cubierta	74
Tabla 5-10: Estadísticas para caudales máximos	75
Tabla 5-11: Estadísticas para volúmenes de tormentas.....	77
Tabla 5-12: Estadísticas para tiempo de retardo de caudal de tormentas.....	79
Tabla 5-13: Estadísticas para el porcentaje de reducción de caudal de tormentas	81
Tabla 5-14: Eventos de tormenta seleccionados para calibración y validación	83
Tabla 5-15: Intervalo de parámetros a calibrar	84
Tabla 5-16: Índices de retención de humedad.....	90
Tabla 5-17: Resultados de calidad del agua tormenta 19-11-2012.....	91
Tabla 5-18: Resultados de calidad del agua tormenta 14-12-2012.....	92
Tabla 5-19: Resultados de calidad del agua tormenta 19-03-2013.....	93
Tabla 5-20: Tabla resumen de concentraciones de SST (mg/L)	94

Lista de Símbolos

Símbolo	Término	Unidad SI
A	Área	m^2
D	Diámetro	m
H	Presión del agua en los poros	m
I	Intensidad	mm/h
k	Conductividad hidráulica	m/s
k_s	Conductividad hidráulica en estado de saturación	m/s
L	Longitud	m
M	Parámetro característico del medio poroso	-
N	Parámetro característico del medio poroso	-
P	Precipitación	mm
Q	Caudal	m^3/s
T	Tiempo	s
t_c	Tiempo de concentración	s
t_{lag}	Tiempo de retardo	s
X	Coordenada horizontal	1
V	Volumen	m^3
Z	Coordenada vertical	1
$\%_{red}$	Porcentaje de reducción de caudal	$\%$
A	Parámetro característico del medio poroso	$1/m$
ε	Residuo de caudal estimado	m^3/s
θ_r	Contenido volumétrico de agua residual	1
θ_s	Contenido volumétrico de agua en estado de saturación	1
σ^2	Varianza del error	m^3/s

Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>AASTHO</i>	Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales
<i>ANOVA</i>	Análisis de Varianza
<i>CAB</i>	Cálculo Aproximado Bayesiano
<i>CRH</i>	Curva de Retención de Humedad
<i>DPP</i>	Distribución de Probabilidad Posteriori
<i>EAB</i>	Empresa de Acueducto de Bogotá
<i>FLL</i>	Sociedad Alemana de Investigación y Construcción
<i>IRH</i>	Índice de Retención de Humedad
<i>L.E.H.</i>	Laboratorio de Ensayos Hidráulicos Universidad Nacional de Colombia
<i>L.H.</i>	Laboratorio de Hidráulica Universidad Nacional de Colombia
<i>MMCE</i>	Modelo de Medio Continuo Equivalente
<i>PTAR</i>	Planta de Tratamiento de Agua Residual
<i>SDA</i>	Secretaría Distrital de Ambiente
<i>SST</i>	Sólidos Suspendidos Totales
<i>SUCS</i>	Sistema de Clasificación Unificada de los Suelos
<i>SUDS</i>	Sistema de Drenaje Urbano Sostenible
<i>UNAL</i>	Universidad Nacional de Colombia

Introducción

La ciudad de Bogotá durante el periodo de invierno 2009-2010, colapsó por la falla de su sistema de drenaje, presentando inundaciones en varios sectores de la ciudad y el desbordamiento del río Bogotá, como se evidencia en las siguientes figuras:



Figura 6-1: Inundación de la Avenida Caracas con calle primera¹



Figura 1-2: Desbordamiento del río Bogotá en la vía Bogotá-Cota²

Con la problemática evidenciada durante la ola invernal, la alcaldía de Bogotá, por medio de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) generaron el documento técnico de soporte

¹ http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/inundaciones-en-bogota-por-aguaceros_8317821-4

² <http://static2.elespectador.com/files/images/febmar2010/30474bda1aa2550f73f4cab7dfdf72f4.jpg>

en sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) (León et al., 2011), con el objetivo de modificar los sistemas de drenaje urbano que se han venido implementando, con la integración de los SUDS en el desarrollo y crecimiento de la ciudad.

El documento técnico de la SDA (León et al., 2011) definió los siguientes elementos como SUDS para la ciudad de Bogotá:

1. Tanques de almacenamiento de aguas lluvias.
2. Sistemas de techos verdes o cubiertas vegetalizadas.
3. Drenes filtrantes.
4. Cunetas verdes.
5. Zonas de bioretención.
6. Sumidero tipo alcorque inundable.
7. Superficies permeables.
8. Pondaje húmedo vegetado.

De los diferentes SUDS definidos por la SDA, la presente investigación se enfoca en los sistemas de cubiertas verdes, evaluando su capacidad de reducción y retardo de los excesos de escorrentía urbana. También se realiza un primer acercamiento a parámetros de calidad del agua en la descarga de las cubiertas verdes.

1. Justificación

En Colombia — en particular, en grandes capitales como Bogotá —, los volúmenes de escorrentía urbana, generados frecuentemente durante la época invernal, superan en algunos casos la capacidad de transporte del sistema local de alcantarillado. En la ciudad de Bogotá, esta situación es crítica en localidades como Bosa, Fontibón, Tunjuelito y Kennedy. Para mitigar los efectos producidos por los excesos de escorrentía, los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) son alternativas para el manejo de estos excesos. Las cubiertas verdes, las cuales pertenecen a los sistemas de drenaje alternativo, emergen como una solución para el manejo sostenible del drenaje urbano.

Para el caso de la ciudad de Bogotá este tipo de sistemas se han implementado, desde el año 2011, cubiertas verdes en edificaciones públicas y privadas (e.g., edificio Secretaría Distrital de Ambiente, edificio Briceño Universidad Javeriana, centro comercial Titán Plaza).

Investigadores han reportado beneficios asociados a la instalación de cubiertas verdes: 1) almacenamiento temporal de la escorrentía en el sustrato (suelo de la cubierta verde) (VanWoert et al., 2005), 2) absorción de agua mediante el sistema radicular de la vegetación, 3) retención inicial debido al follaje de la capa vegetal (Getter, Rowe, & Andresen, 2007), 4) disminución de la velocidad de escorrentía debido a la intercepción de la vegetación y la infiltración en el sustrato (Czemiel Berndtsson, 2010), 5) disminución del aporte de contaminantes al alcantarillado (Bianchini & Hewage, 2012), 6) disminución del efecto de la isla de calor (Niachou, Papakonstantinou, Santamouris, Tsangrassoulis, & Mihalakakou, 2001, Castleton, Stovin, Beck, & Davison, 2010) y 7) disminución del dióxido de carbono (Li et al., 2010).

Teniendo en cuenta la problemática actual de drenaje urbano de la ciudad de Bogotá, se recomienda implementar los SUDS como una alternativa para disminuir o evitar los eventos de inundación presentados durante la época de invierno. Es importante evaluar las cubiertas verdes, incluidas como SUDS en el documento técnico de la SDA (León et al., 2011), e identificar sus propiedades para la reducción y almacenamiento temporal de la escorrentía urbana.

En esta investigación se evalúan las cubiertas verdes como sistemas de drenaje urbano sostenible con el objetivo de determinar las capacidades de almacenamiento temporal de los excesos de precipitación. En este caso particular, se implementaron sustratos con materiales reciclados de la construcción para evaluar su capacidad de atenuación y retardo de la escorrentía urbana y a la vez buscar una alternativa para darle un segundo uso a este tipo de materiales y así contribuir a la disminución de los escombros que generan las obras en construcción en la ciudad, que para el año 2021 se estima alcance un volumen de 10'748.587 m³ (Escombros Cero & Públicos, 2012).

1.1 Pregunta de investigación

La pregunta de investigación de la que parte este documento es: ¿Cuál es la capacidad de atenuación y retardo del caudal máximo de una cubierta verde que tiene como sustrato material reciclado de construcción?

1.1.1 Objetivo General

Determinar la capacidad de atenuación de caudales máximos, del proceso lluvia-escorrentía, de cubiertas verdes construidas con materiales reciclados de construcción. Se propone efectuar el análisis para diferentes eventos de precipitación en el campus de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá).

1.1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la presente investigación son:

- Adoptar, construir, e instalar cuatro sistemas de cubiertas verdes, dos del tipo extensiva y dos del tipo intensiva. Cada cubierta verde con un área superficial de un metro cuadrado, una profundidad de sustrato de 8 cm y se usaron pendientes del 2% y 5%.

Las cubiertas verdes se instalaron en la playa de modelos del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional.

- Monitorear eventos de precipitación sobre cuatro cubiertas verdes durante un periodo de seis meses.
- Evaluar los resultados de la capacidad de atenuación de las cubiertas cubierta verdes instaladas según la pendiente y tipo de sistema (extensivo e intensivo).
- Calibrar y validar un modelo de flujo para la estimación de caudales a la salida de una cubierta verde.

1.2 Mapa del documento

El presente documento se estructura de la siguiente manera:

- Capítulo 1: justificación de la investigación y planteamiento de la pregunta de investigación.
- Capítulo 2: estado del arte de la investigación acerca de las capacidades de atenuación y retardo de las cubiertas verdes.
- Capítulo 3: descripción del montaje y monitoreo de las cubiertas verdes.
- Capítulo 4: simulación del flujo en los sustratos con material reciclado de la construcción.
- Capítulo 5: resultados y análisis.
- Capítulo 6: conclusiones y recomendaciones

2. Sistemas de drenaje urbano sostenible

Los SUDS³, tienen como objetivo mitigar los impactos generados por el exceso de escorrentía a nivel urbano. La implementación de estos sistemas busca mejorar condiciones de infiltración, interceptación y evapotranspiración, regresando las condiciones de la cuenca urbana a aquellas previas a la urbanización. Además, estos sistemas se caracterizan por tener una capacidad de almacenamiento, la cual evita que grandes volúmenes de escorrentía lleguen a fuentes receptoras como ríos, lagos y humedales.


Uno de los SUDS con mayores ventajas son las cubiertas verdes que como su nombre lo indica, se instalan sobre los techos de las edificaciones. y en comparación con otros SUDS, esta ubicación les da una ventaja al no requerir metros cuadrados adicionales para su instalación que en una ciudad como Bogotá, en donde el metro cuadrado disponible tiene unos altos costos, es una variable que influye en la toma de decisiones para la implementación de estos sistemas de drenaje.

Las cubiertas verdes se pueden considerar como una herramienta para el uso eficiente del recurso hídrico; al respecto, en la ley 373 del 6 de junio de 1997 se establece:

- ✚ *Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico;*
- ✚ *el programa de uso eficiente y ahorro de agua, será quinquenal y deberá estar basado en el diagnóstico de la oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las*

³ SUDS: Sustainable Urban Drainage System, en español sistema de drenaje urbano sostenible

campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las Corporaciones Autónomas Regionales (artículo 2);

 *las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental (artículo 5).*

La implementación de los SUDS y la reutilización de las aguas lluvias en el territorio Colombiano aportan al uso eficiente del recurso hídrico. Las necesidades de consumo de agua potable en la ciudad aumentan a medida que se incrementa su población; por lo tanto, el uso de sistemas de drenaje sostenible, como las cubiertas verdes puede, a largo plazo, disminuir las necesidades de consumo de agua potable en las edificaciones, mediante el uso y la reutilización de las aguas lluvias capturadas por las cubiertas verdes. Estos volúmenes se pueden usar en sanitarios, riego de zonas verdes, lavado de pisos y lavados de fachadas (Razzaghmanesh, Beecham, & Kazemi, 2014). En cuanto a la calidad del agua, una cubierta verde puede funcionar como un filtro, capturando el material particulado y otros determinantes de calidad del agua como metales y nutrientes.

En países como Alemania, España, Estados Unidos, Holanda, e Inglaterra, se ha evaluado el desempeño de las cubiertas verdes para el manejo de la cantidad y calidad de agua de escorrentía urbana. Por ejemplo, VanWoert et al. (2005) indicó que la implementación de cubiertas verdes reduce los excesos de escorrentía y Stovin (2009) encontró una retención del 34% del agua lluvia en los 11 eventos monitoreados. En la Tabla 2-1 se presentan diferentes resultados de la capacidad de retención de cubiertas verdes evaluadas por diferentes autores.

Tabla 2-1: Resultados de retención en cubiertas verdes evaluadas en investigaciones (Czemiel Berndtsson, 2010)⁴.

Artículo	Resultados de retención en las cubiertas verdes (%)	Duración de la investigación
Bengtsson et al. (2005)	46%	17 meses
VanWoert et al. (2005)	60.6%	15 meses
DeNardo et al. (2005)	45%	2 meses
Moran et al. (2005) Cubierta 1	63%	18 meses
Moran et al. (2005) Cubierta 2	55%	15 meses
Carter and Rasmussen (2006)	78%	13 meses
Monterusso et al. (2004)	49%	4 eventos de tormenta

2.1 Componentes y clasificaciones generales de las cubiertas verdes.

En la presente sección se da una descripción de los diferentes componentes de las cubiertas verdes y sus clasificaciones según su estructura.

La estructura típica de una cubierta verde, sea intensiva o extensiva, contiene cuatro componentes principales: una capa vegetal; el sustrato orgánico; un geotextil no tejido para evitar el lavado del material granular, el cual permite el paso del agua y un medio drenante para conducir las aguas a los sifones de cubierta de las edificaciones (Figura 2-1).

⁴ Las referencias indicadas en la tabla corresponden a la revisión bibliográfica realizada por Czemiel Berndtsson (2010), artículo review.

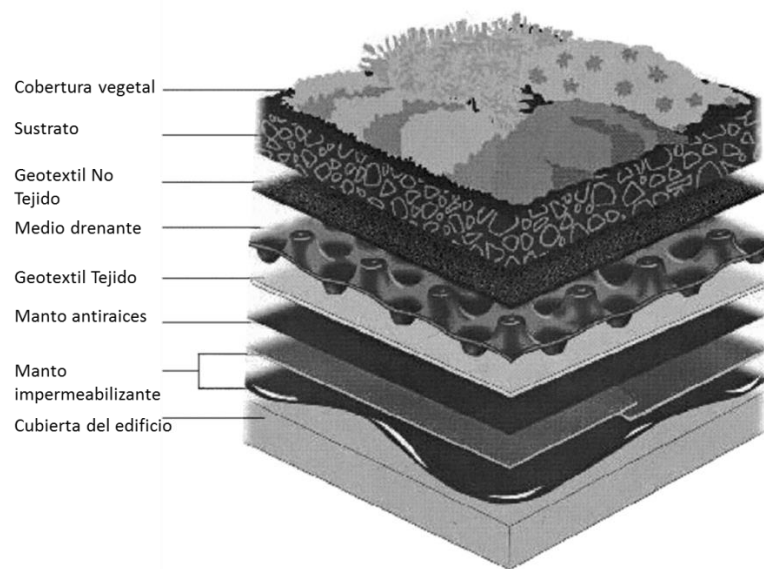


Figura 2-1: Esquema general de una cubierta verde (T. Carter & Keeler, 2008).

Las cubiertas verdes se pueden clasificar como: i) intensivas y ii) extensivas. Las cubiertas verdes intensivas contienen una mayor profundidad de material orgánico (sustrato); por lo tanto, es posible instalar vegetación de mayor altura y árboles de tamaño mediano a pequeño. Las cubiertas verdes extensivas se diseñan con una profundidad de material orgánico menor y una vegetación con altura pequeña.

Las cubiertas verdes intensivas requieren de mantenimiento constante, riego y elementos de protección como medida preventiva para evitar posibles afectaciones en la cubierta de la edificación. Los daños a la estructura pueden ser causados por las raíces de las plantas instaladas y la carga adicional a la estructura portante de la edificación. Las cubiertas verdes extensivas requieren de menos mantenimiento y su peso es reducido, teniendo menor posibilidad de afectar la estructura.

El edificio ACROS (Asian Crossroads Over the Sea) en Fukuoka – Japón es uno de los edificios que ha aplicado a nivel mundial las tecnologías de cubiertas verdes. Este edificio tiene cubiertas verdes intensivas, como se puede observar en la Figura 2-2.

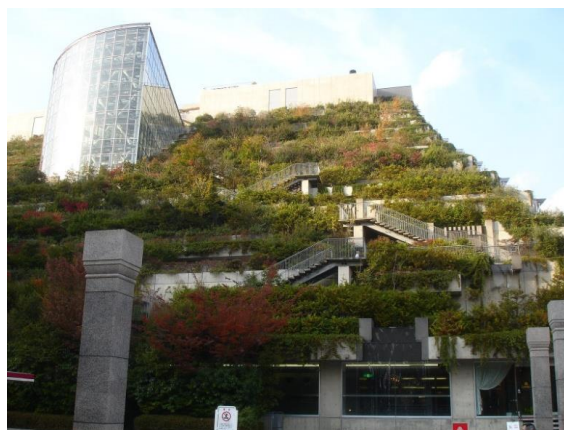


Figura 2-2: Edificio ACROS Fukuoka-Japón⁵.

Las cubiertas verdes extensivas se diseñan con una profundidad de material orgánico (sustrato) pequeña (entre 4 cm a 15 cm), con una vegetación pequeña. El edificio de Chicago City Hall, tiene instaladas cubiertas verdes extensivas y se ha reportado que con la vegetación instalada se ha logrado disminuir la cantidad de agua lluvia entregada al alcantarillado y las necesidades de calefacción interna por regulación térmica por la capa vegetal instalada (Figura 2-3).



Figura 2-3: Chicago City Hall⁶, Estados Unidos de América.

Czemiel Berndtsson (2010) presenta las diferentes clasificaciones de cubiertas verdes adoptadas por diferentes investigaciones según profundidades de sustrato (Tabla 2-2).

⁵ <http://geviar.wordpress.com/2007/04/22/acros-fukuoka/> (Veloso).

⁶ <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/green-rooftop.htm>

Tabla 2-2: Espesores de cubiertas verdes intensivas y extensivas (Czemiel Berndtsson, 2010)

Intensivo (mm)	Extensivo (mm)	Referencia	Año
150-200	50-150	Kosareo and Ries	2007
>500	-	Köhler <i>et al</i>	2002
150-350	30-140	Mentens <i>et al</i>	2006
>100	<100	Wong <i>et al</i>	2007
>300	-	Bengtsson <i>et al</i>	2005
>100	20-100	Graham and Kim	2005

(-) No definido

2.2 Propiedades de almacenamiento temporal de una cubierta verde

En varias investigaciones se ha demostrado la capacidad de almacenamiento temporal de los excesos de escorrentía de las cubiertas verdes. Mentens et al. (2006) indicaron que la escorrentía anual de la ciudad de Bruselas (Bélgica) se reduce en un 2.7% si se instalan cubiertas verdes en el 10% de los techos de las edificaciones de la ciudad. Dependiendo de la intensidad y duración de la tormenta, la capacidad de retención de las cubiertas verdes se ve afectada. T. L. Carter y Rasmussen (2007) determinaron que este tipo de cubiertas puede almacenar entre 39% a un 100% del total de la precipitación. Speak et al., (2013) determinaron una reducción del evento de tormenta del 65.7%.

VanWoert et al. (2005) comparó la capacidad de almacenamiento de una cubierta sin cobertura vegetal (gravilla) y otra con vegetación, y encontró que para el periodo de estudio (28 agosto de 2002 al 31 de octubre 2003) la cubierta de sólo gravilla retuvo un 33.9%, mientras que la cubierta verde retuvo un 82.9%.

Getter et al. (2007) demostraron que la pendiente de la cubierta es un parámetro que afecta la capacidad de retención de los sistemas de cubiertas verdes: inclinaciones mayores al 25% pueden retener los excesos de escorrentía máximo hasta el 75.3% y con el 2% hasta

un máximo de 85.2%. Cubiertas verdes con pendientes del 2% retienen en promedio 70.7% y pendientes de 6.5%, retienen en promedio 65.9% (VanWoert et al., 2005).

Ibañez (2009) y Borbón e Ibañez (2009) indican que la implementación de cubiertas verdes para Bogotá puede generar una disminución en los excesos de caudales de escorrentía, así como otros beneficios, como reducción de la isla de calor, aumento en la biodiversidad y protección térmica al interior de las edificaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, la implementación de cubiertas verdes en la ciudad de Bogotá se considera importante para la reducción y atenuación de los excesos de caudal provenientes del proceso lluvia escorrentía, mejorando el drenaje urbano actual.

2.3 Calidad del agua en la descarga de las cubiertas verdes

Las cubiertas verdes pueden mejorar la calidad del agua de escorrentía urbana por medio de su estructura sustrato-capa vegetal (Czemiel Berndtsson, 2010, Stovin, 2009), disminuyendo la polución y efectos de primer lavado (Bianchini & Hewage, 2012). Los diferentes componentes (sustratos) de las cubiertas verdes, los fertilizantes y la intensidad de la lluvia también pueden afectar la calidad del agua de escorrentía, Teemusk & Mander (2007) determinaron que existe un aumento de fósforo total en la descarga de las cubiertas verdes y que en eventos de alta intensidad existe un aporte de nitrógeno y fósforo.

Los excesos de nutrientes que generan las cubiertas verdes pueden afectar las fuentes receptoras (acuíferos, embalses, humedales), causando eutrofización con el crecimiento de algas, convirtiendo a los acuíferos en anaerobios (Vijayaraghavan, Joshi, & Balasubramanian, 2012).

Vijayaraghavan et al., (2012) recomiendan investigar más los resultados de calidad del agua para diferentes tipos de cubiertas verdes, al encontrar que las cubiertas verdes aportan metales livianos como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y metales pesados como hierro (Fe), cobre (Cu) y aluminio (Al).

En la ciudad de Adelaide, Australia, Razzaghmanesh et al. (2014) compararon la calidad del agua entre las cubiertas verdes, cubiertas de aluminio y de asfalto, como resultado se evidenció que la implementación de cubiertas verdes contribuye a la reducción de los excesos de caudal de escorrentía y mejora las condiciones de calidad del agua en el drenaje urbano.

En la revisión del estado del arte de las propiedades de calidad del agua de las cubiertas verdes se encontró que varios autores recomiendan continuar investigando sobre el tema debido a que las investigaciones tienen pocos datos de comparación. Por esta razón, antes de implementar cubiertas verdes en Bogotá es importante indagar en esta área de investigación.

3. Cubiertas verdes y programa de monitoreo

En el presente capítulo se describen las actividades desarrolladas para la instalación de cubiertas verdes y el programa de monitoreo realizado en la playa de modelos del laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá (UNAL).

3.1 Cubiertas verdes

En la playa de modelos de la UNAL se instalaron dos cubiertas verdes intensivas y dos extensivas. Cada cubierta se instaló con una profundidad de sustrato de 8 cm y se utilizaron diferentes mezclas de suelo (sustrato) y tipo de vegetación (sedums y helechos).

Teniendo como marco de referencia la investigación de VanWoert et al. (2005) en donde compararon cubiertas verdes intensivas y extensivas con sustratos de 2.5 cm a 6.0 cm e inclinaciones de cubiertas del 2.0% y 6.5%, se realizó el siguiente montaje en la playa de modelos de la UNAL: 10 cubiertas verdes con sustratos de 8 cm de profundidad; con dos tipos de pendientes, inclinaciones de 2% y 5%. En la Figura 3-1 se presenta la ubicación de la playa de modelos del Laboratorio de Hidráulica.

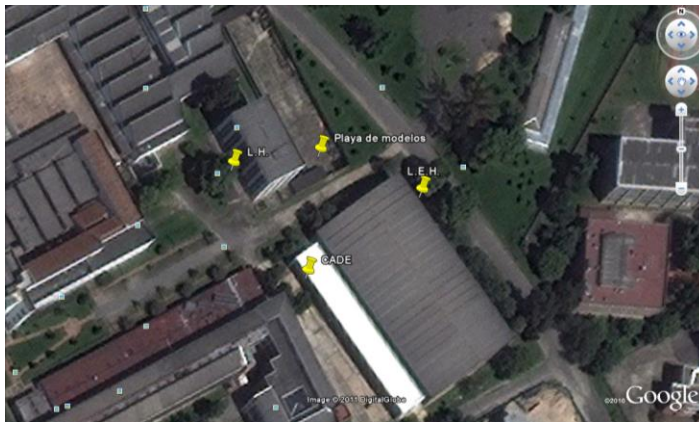


Figura 3-1: Ubicación de los modelos de cubiertas verdes en la Universidad Nacional de Colombia. (imagen digital de Google Earth).

Las combinaciones entre cubierta verde y pendientes instaladas fueron las que se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Combinación tipo de cubierta verde e inclinación instaladas

Tipo de cubierta verde	Inclinación (%)	Vegetación instalada	Tipo de sustrato ⁷	Suministro del sustrato
Intensiva	2%	Helechos	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Intensiva	5%	Helechos	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Extensiva	2%	Sedums	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Extensiva	5%	Sedums	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Intensiva	2%	Granizo	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Intensiva	5%	Granizo	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Extensiva	2%	Cintas	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Extensiva	5%	Cintas	Reciclado de construcción	BIOTECTONICA
Intensiva	2%	Granizo	Biosólido	EAB
Intensiva	5%	Granizo	Biosólido	EAB

3.1.1 Instalación de cubiertas verdes

Las cubiertas verdes que se instalaron tienen un área de 1.00 m² cada una, para comparar los resultados de los excesos de flujo entre estas y una cubierta de una edificación común, se instalaron 2 cubiertas adicionales en policarbonato con inclinaciones de 2% y 5%.

En las figuras que se describen a continuación se muestra el proceso constructivo del montaje realizado en la playa de modelos de la UNAL. La Figura 3-2 corresponde a la construcción de los muros de soporte de las cubiertas verdes y la cubierta de control, cada una de 1.00 m², así como las cajas de inspección que albergan los equipos de medición. Al terminar la construcción de la mampostería se realizó la configuración de los marcos y láminas metálicas para la base de soporte y los límites perimetrales del sustrato de 8 cm de profundidad (Figura 3-3)

⁷ La composición de cada sustrato se describe en la sección 3.2



Figura 3-2: Construcción de muros y cajas en mampostería.

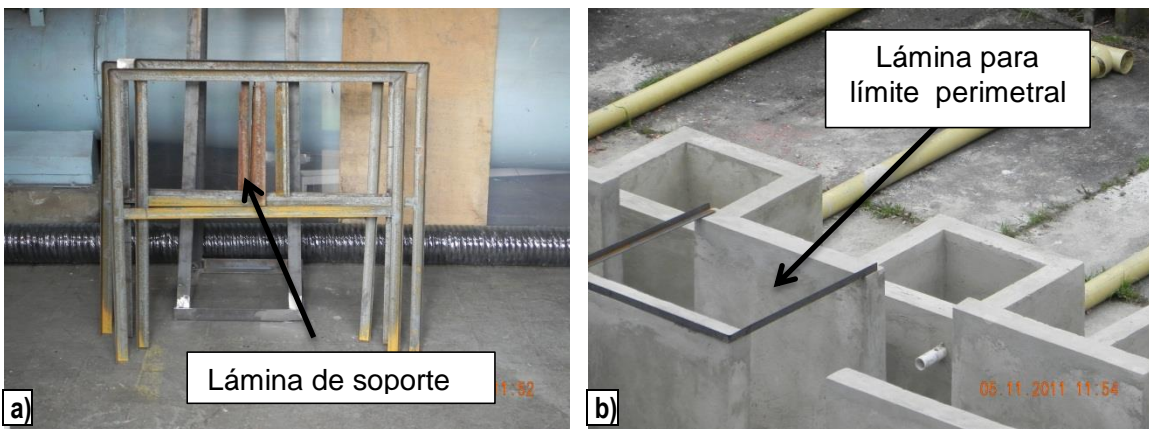


Figura 3-3: Instalación de la lámina metálica de soporte y para el límite perimetral.

En la Figura 3-4 se presenta la instalación de la lámina drenante. Debido a que el área de las cubiertas verdes era mayor a las dimensiones de la lámina drenante, se instalaron dos láminas por cubierta (Figura 3-4 a y d); para garantizar hermeticidad entre las láminas

drenantes y las láminas metálicas se aplicó un sellante de poliuretano (VULKEM, Figura 3-4 b y c).

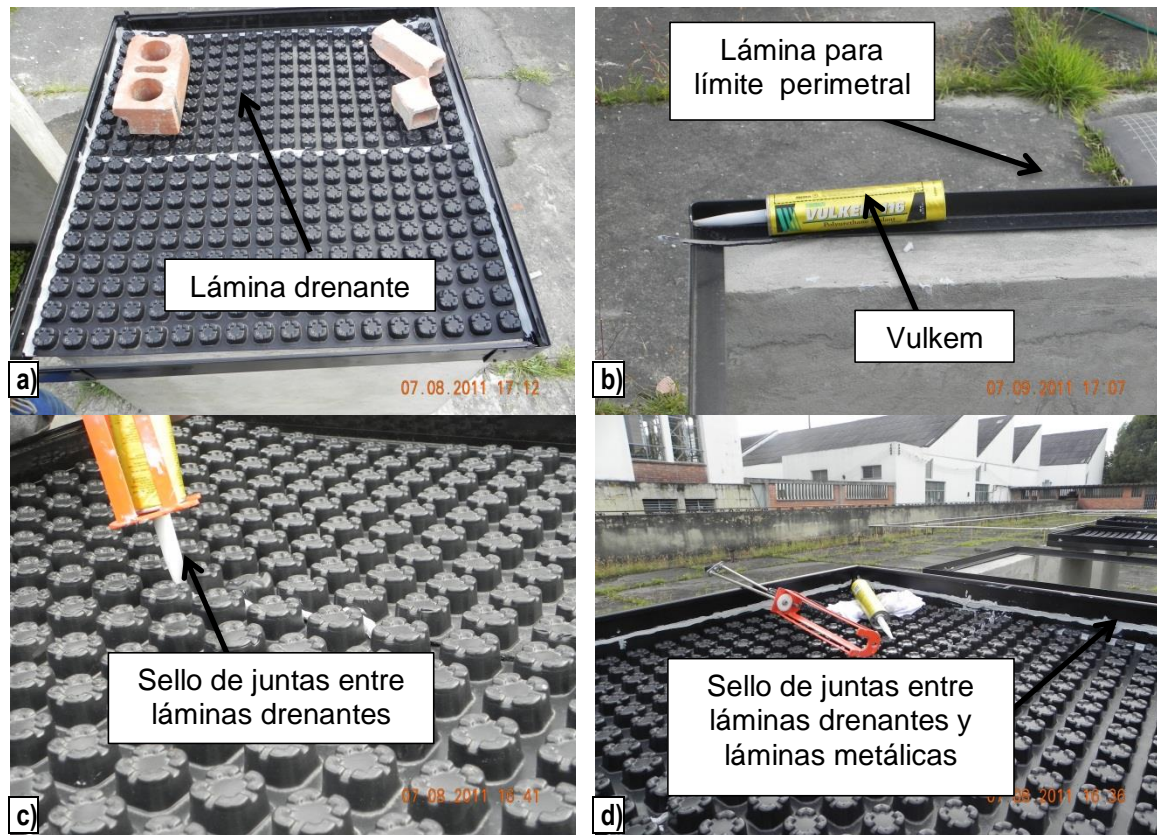


Figura 3-4: Instalación de las láminas drenantes y sellante para hermeticidad de las cubiertas.

En la Figura 3-5 se presenta la instalación de:

- a) Geotextil no tejido NT2000 , Figura 3-5.(a).
- b) Prueba de hermeticidad, Figura 3-5.(b).
- c) Instalación de sustratos y vegetación, Figura 3-5.(c) a (f).

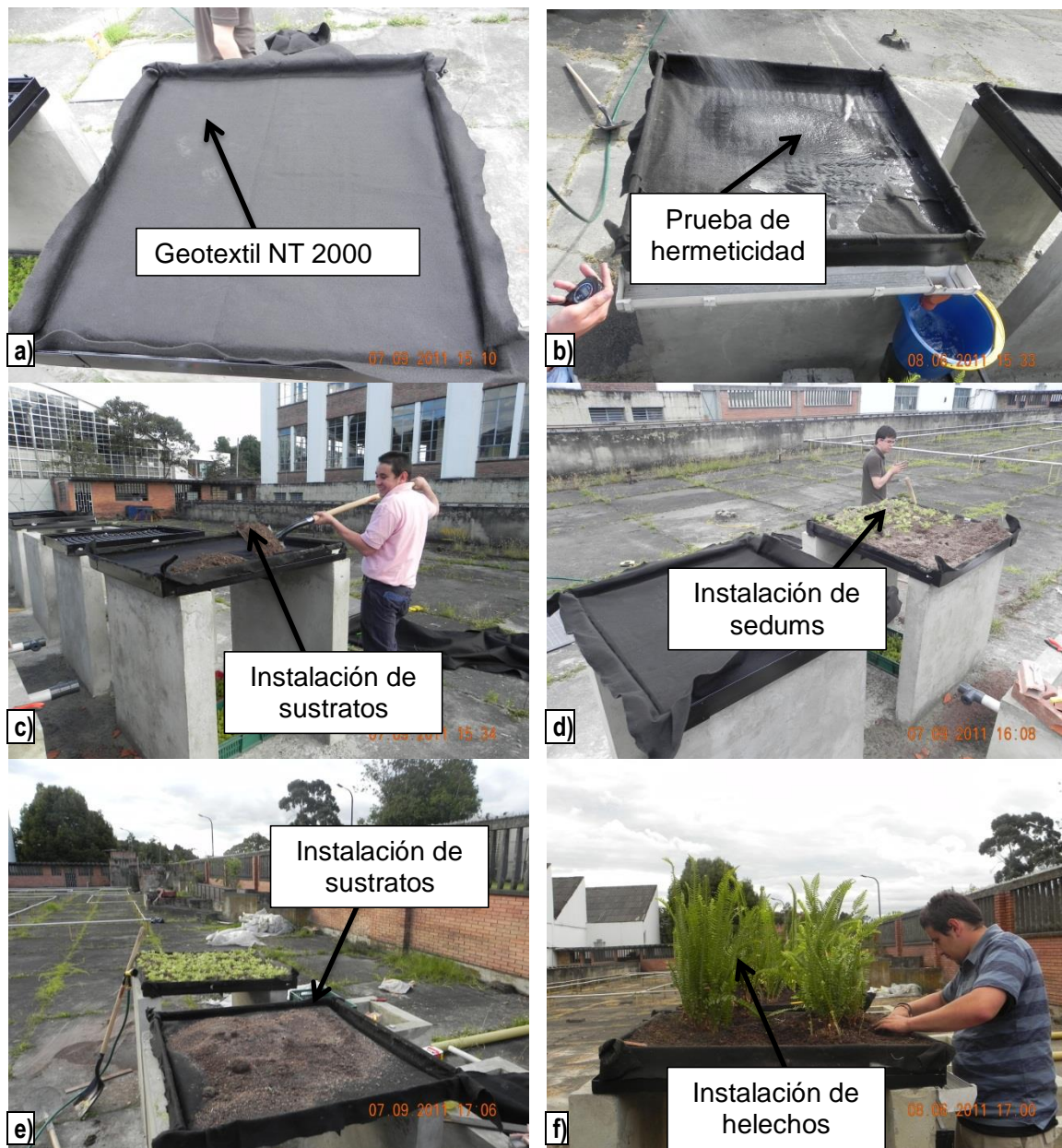


Figura 3-5: Instalación del geotextil no tejido NT2000, sustrato y siembra de vegetación.

Al finalizar la instalación de las cubiertas se realizó la conexión al canal trapezoidal en PVC (Figura 3-6 b) y la tubería PVC-L (Figura 3-6 a) para transportar los excesos de lluvia a los equipos de medición (Figura 3-6 a).

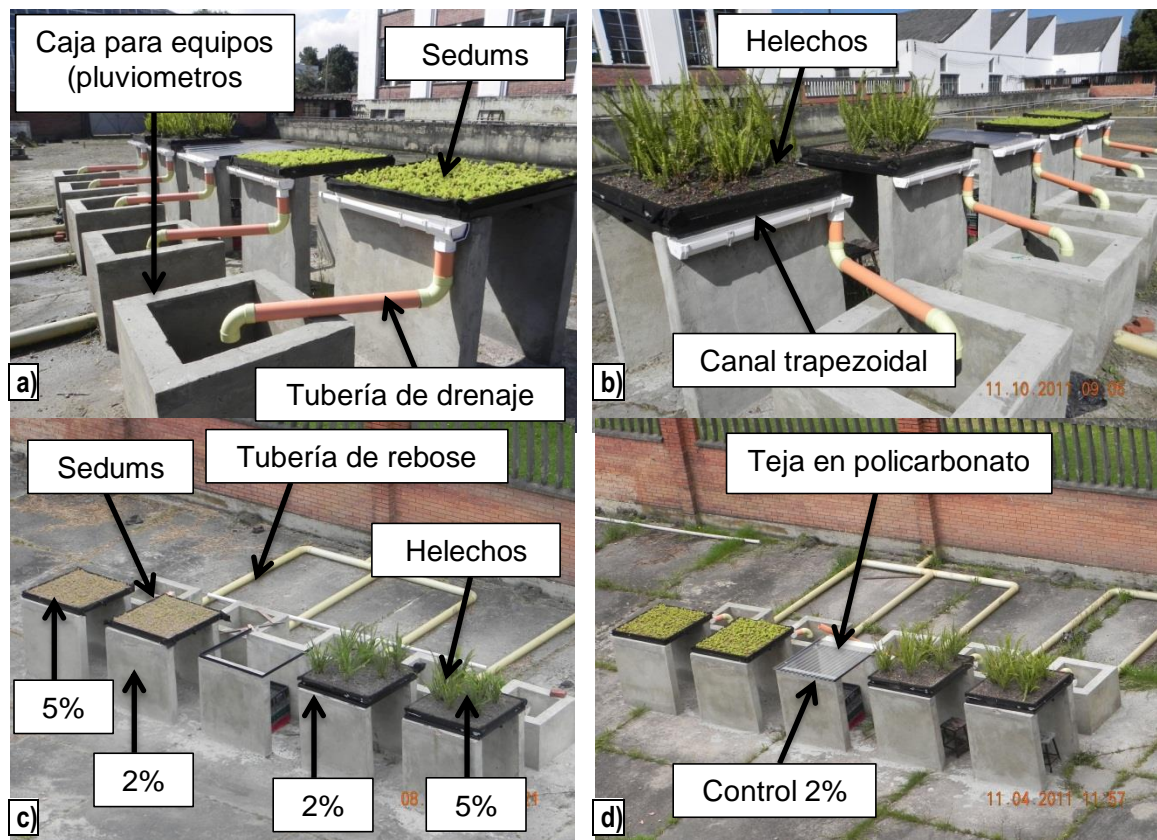


Figura 3-6: Cubiertas verdes extensivas con sedums (a), intensivas con Helechos (b) y control del 2% (d).

El montaje descrito anteriormente se realizó igualmente para las cubiertas verdes con vegetación de cintas y granizos, presentadas en la Figura 3-7.

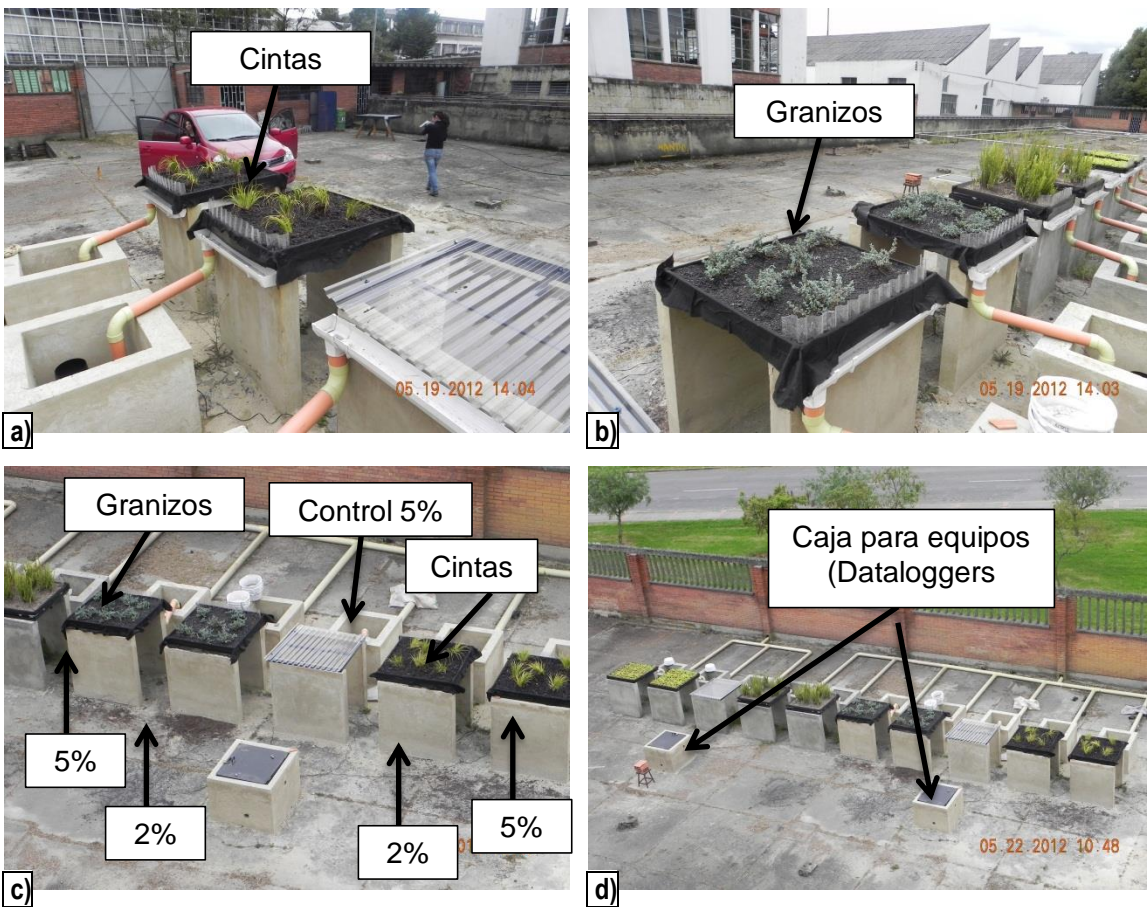


Figura 3-7: Cubiertas verdes extensivas (Cintas, superior izquierda), intensivas (Granizos, superior derecha) y control del 5%.

Las últimas cubiertas instaladas fueron las que tienen un sustrato de BIOSÓLIDO, subproducto de la PTAR Salitre de la ciudad de Bogotá (Figura 3-8). Estas cubiertas tienen una lámina drenante (Maderplast) diferente a las previamente instaladas, debido a que es completamente lisa (Figura 3-8 a).

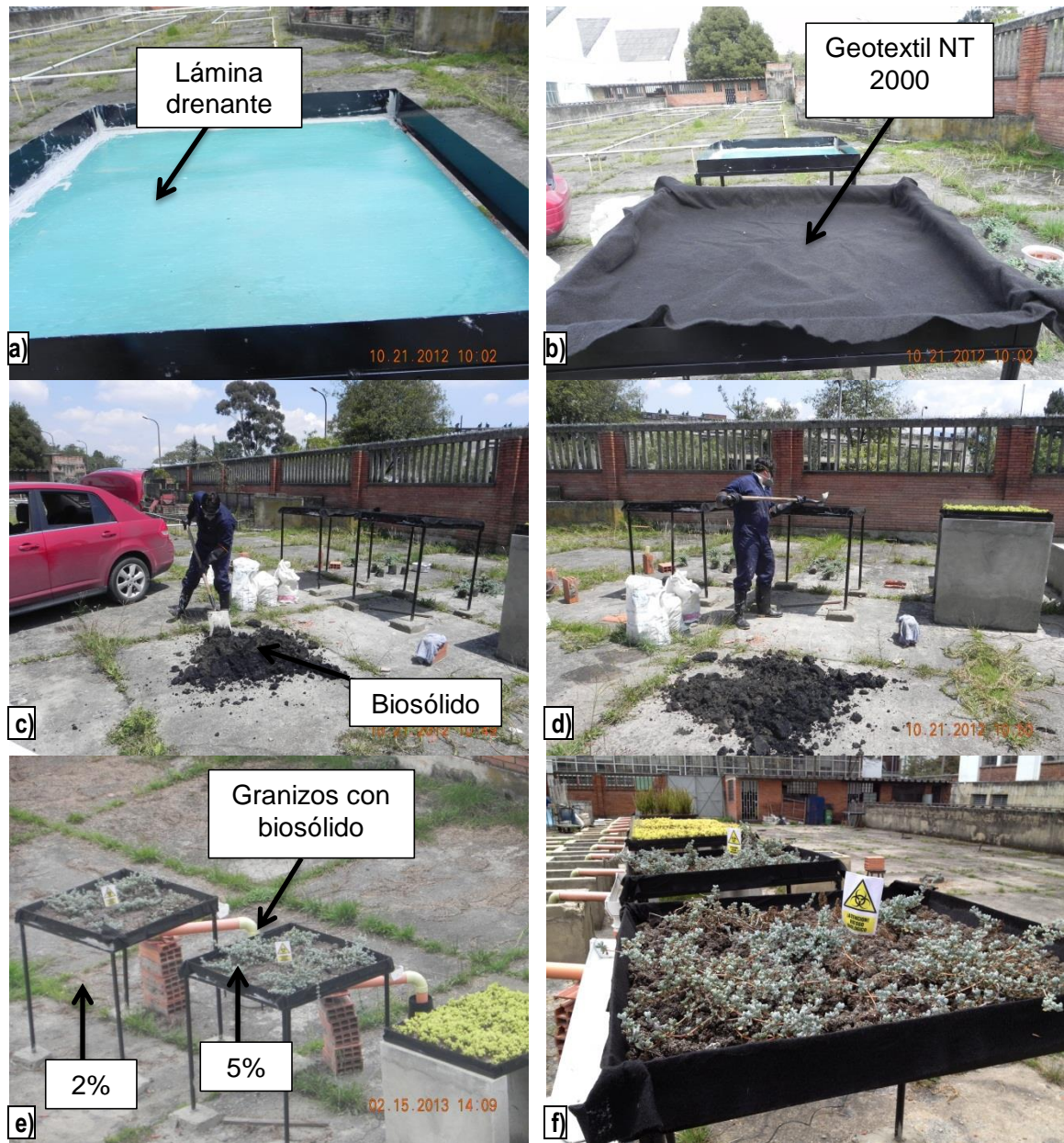


Figura 3-8: Instalación de cubiertas verdes con BIOSÓLIDO.

En la Figura 3-9 se presentan todas las cubiertas verdes instaladas en la UNAL, para la evaluación como SUDS.

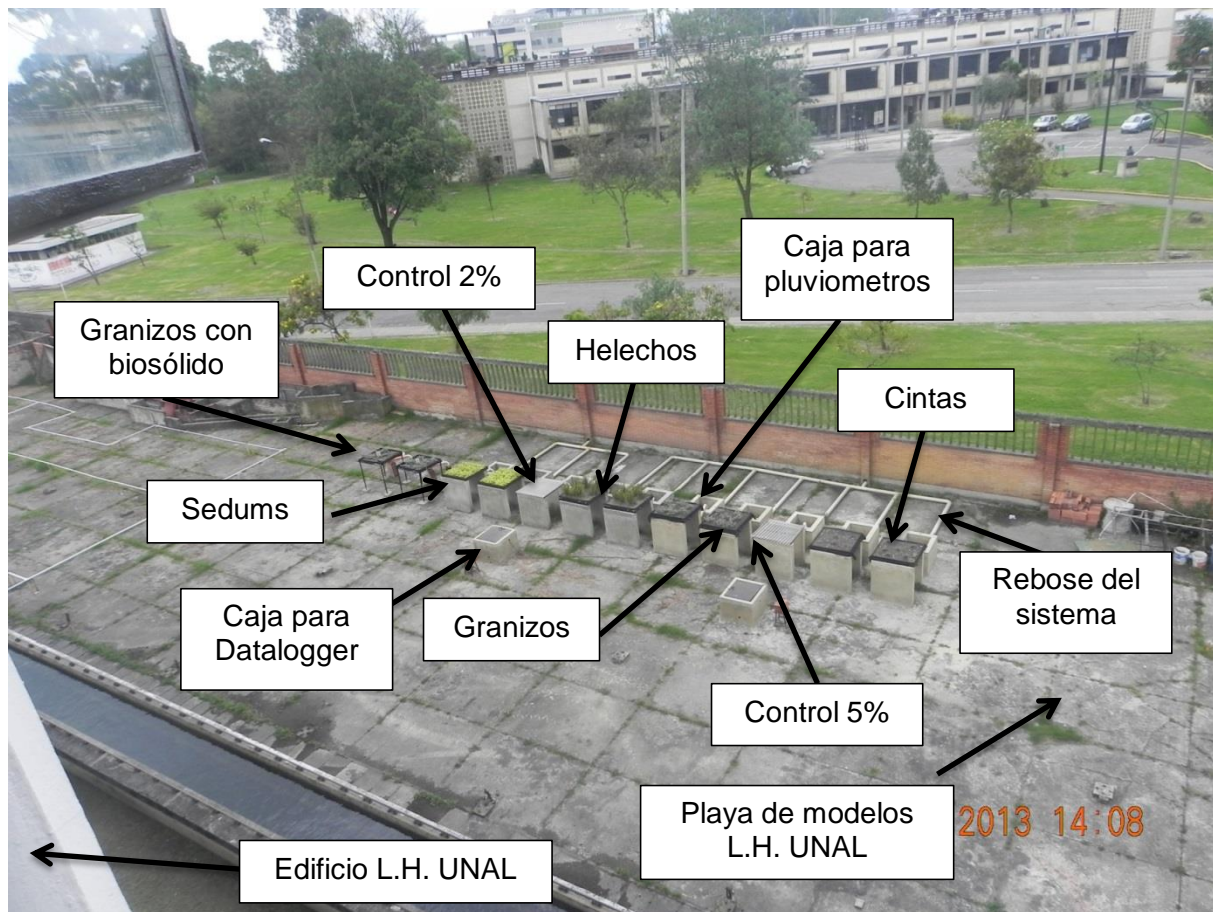


Figura 3-9: Montaje de cubiertas verdes en la playa de modelos de la UNAL

3.1.2 Equipos

En esta sección se presentan los equipos instalados para la medición del flujo a la salida de cada cubierta.

Los pluviómetros instalados midieron la cantidad de agua lluvia por medio de un balancín de vaciado automático con una sensibilidad de 0.25 mm en cada pulso, señal emitida por un interruptor que se cierra cada vez que el peso del agua acumulada hace bascular el balancín (Figura 3-10) emitiendo la señal al datalogger (DECAGON EM50), mostrado en la Figura 3-11. Este equipo se utilizó para el almacenamiento de la información (pulsos) emitida por el pluviómetro DAVIS (Figura 3-10).



Figura 3-10: Pluviómetro marca Davis.



Figura 3-11: Datalogger DECAGON EM50

El agua descargada por cada pluviómetro se almacenaba en un balde de 5 litros para su posterior análisis de calidad (Figura 3-12).



Figura 3-12: Instalación para la medición de flujo y calidad del agua.

3.2 Sustratos de las cubiertas verdes

El término sustrato hace referencia a todo material, sólido, natural, residual, mineral u orgánico, distinto del suelo in situ, que permite el anclaje de las raíces de la vegetación. El sustrato está constituido por material poroso en el que se desarrolla el sistema radicular de la vegetación, en donde se almacenan los nutrientes y el agua necesarios para asegurar su desarrollo y supervivencia. En las siguientes secciones se describen los sustratos empleados en esta investigación y para cada cubierta verde (Tabla 3-1).

3.2.1 Sustrato con materiales reciclados de la construcción

Los sustratos con materiales reciclados de la construcción para cubiertas verdes deben tener las siguientes características (Group, 2002):

1. Ser livianos.
2. Tener capacidad de almacenamiento de agua.
3. El contenido de aire debe ser adecuado para la supervivencia de la vegetación.
4. Ser ricos en nutrientes para la alimentación de la vegetación.
5. Capacidad para rechazar plantas invasivas no deseadas.
6. Tener capacidad para suministrar anclaje al sistema radicular.

Al implementar los sustratos de materiales reciclados de construcción de cubiertas verdes extensivas, se evidenció que son resistentes a la erosión, al deslizamiento, permiten el crecimiento de la vegetación, presentan beneficios para el drenaje y no afectan la calidad del agua (Mickovski, Buss, McKenzie, & Sökmener, 2013).

En esta investigación se utilizan sustratos con 80% de contenido mineral y 20% de material orgánico (recomendaciones de la empresa Biotectónica). En la Tabla 3-2 y Tabla 3-3, se presentan los porcentajes de los materiales usados.

Tabla 3-2: Distribución materiales de sustratos con materiales reciclados de la construcción para cubiertas verdes extensivas con sedums

Porcentaje (%)	Material
5%	Cascarilla de arroz
10%	Escoria de Carbón
5%	Tierra
10%	Humus
30%	Arena de río
40%	Ladrillo triturado

Tabla 3-3: Distribución materiales de sustratos con materiales reciclados de la construcción para cubiertas verdes intensivas con helechos y granizos

Porcentaje (%)	Material
10%	Cascarilla de arroz
30%	Escoria de Carbón
15%	Tierra
15%	Humus
30%	Arena de río

3.2.2 Sustrato de Biosólido

El sustrato de Biosólido utilizado con los granizos, corresponde al subproducto de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) El Salitre de la ciudad de Bogotá. La instalación de este sustrato se realizó debido a que la EAB desea encontrar otro uso de este subproducto.

El biosólido⁸ se conoce como lodos de los residuos semisólidos generados en el proceso de una PTAR. Estos lodos se forman por la sedimentación de la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua residual de la ciudad. Los microorganismos que pueden estar presentes son salmonella, shigella, escherichia coli, campylobacter, yersinia enterocolitica, clostridium perfringens, vibrio cholerae, virus Hepatitis A, enterovirus, rotavirus, virus poliomielitis, ascaris lumbricoides, giardia lamblia y entamoeba hytolitica.

El desarrollo de planes de manejo adecuados de los lodos de una PTAR se realiza por los siguientes aspectos:

1. Pueden contener microorganismos patógenos tales como bacterias, virus y huevos de parásitos.
2. Pueden contener metales pesados tales como plomo, cadmio, cobre, mercurio, níquel, selenio, zinc y arsénico.

El uso de este subproducto en sustratos para cubiertas verdes, se recomienda analiza la calidad del agua, con el objetivo de determinar si la escorrentía puede lavar los contaminantes presentes en el biosólido. Wallace et al. (2013) determinaron que existe una descarga de contaminantes y nutrientes presentes en este tipo de sustratos por escorrentía.

3.3 Clasificación de los sustratos

En esta sección se realiza la clasificación de los sustratos instalados. Para cada sustrato se determinó la curva granulométrica y se clasificaron por medio del Sistema de Clasificación Unificada de los Suelos (SUCS) y el sistema AASTHO.

Para la clasificación se tomaron muestras de cada sustrato y se llevaron a laboratorio en donde se realizó la granulometría por tamizado, en el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños utilizando tamices en orden decreciente. La distribución granulométrica en la que se enmarcaron los sustratos, se realizó de acuerdo con los estándares establecidos por la FLL (Sociedad Alemana de Investigación y Construcción-

⁸<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.acueducto.com.co%2Fwpsv61%2Fwps>.

(Group, 2002)) en donde el contenido de arcillas y limos no debe ser inferior al 5%, no debe superar el 15% de la masa total del sustrato y el diámetro máximo de las partículas empleadas no debe ser mayor a 12 mm. Las Figura 3-13 a Figura 3-17 muestran las curvas granulométricas de los sustratos empleados en esta investigación.

Los resultados obtenidos, por tamizado, indican que los sustratos no pueden definirse como se define un suelo, con el Coeficiente de Uniformidad (C_u) o con el Coeficiente de Curvatura (C_c). Parámetros que sirven para definir si los suelos son gravas o arenas. Por lo anterior se realizó la curva granulométrica por hidrometría (ver 0) para poder completar la curva para valores inferiores al 20% del material que pasa, al no poder determinarse en el análisis por tamizado. El intervalo del diámetro de partícula que pasa el 60% (D_{60}) del material para los sustratos de material reciclado corresponde desde 2.20 mm a 0.34 mm y en el Biosólido no fue posible determinar el D_{60} debido a su composición.

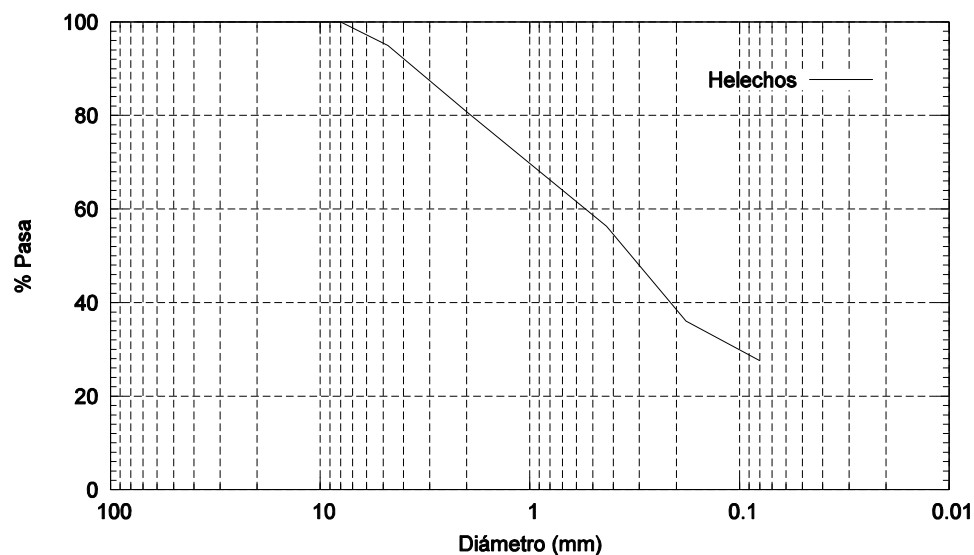


Figura 3-13: Curva Granulométrica de la cobertura de Helechos

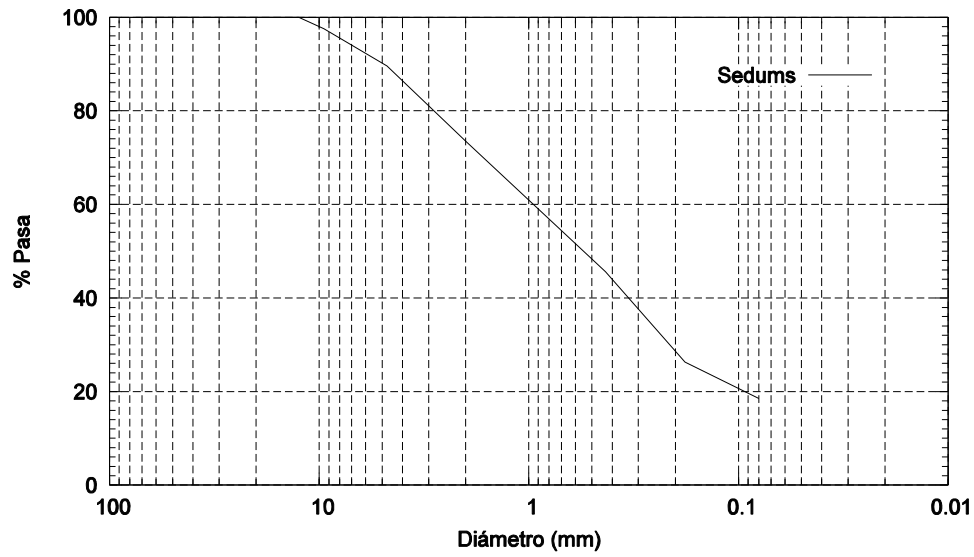


Figura 3-14: Curva Granulométrica de la cobertura Sedums

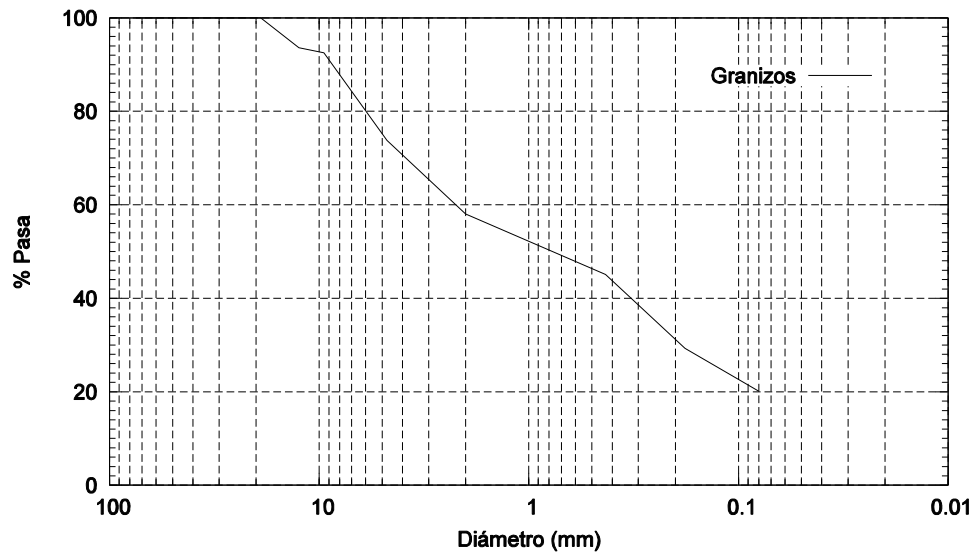


Figura 3-15: Curva Granulométrica de la cobertura Granizos

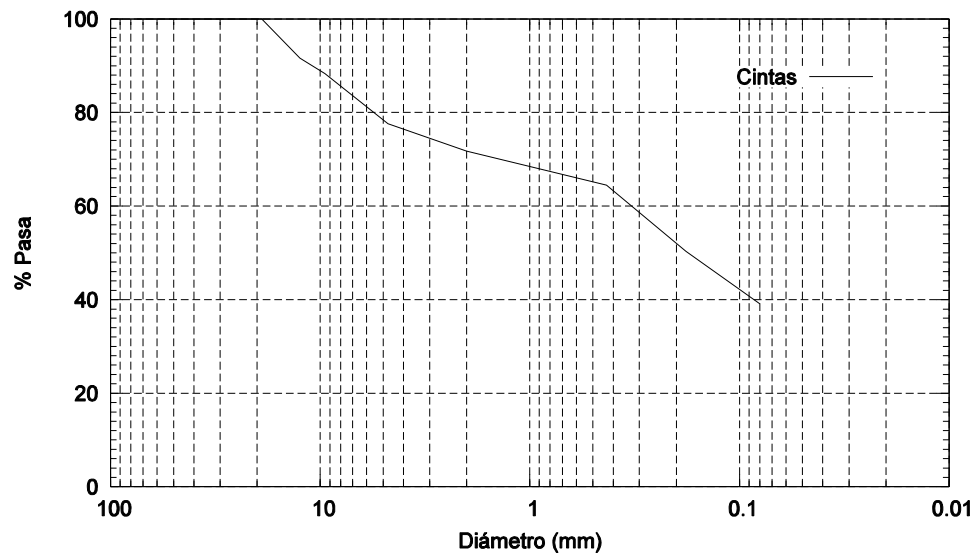


Figura 3-16: Curva Granulométrica de la cobertura Cintas

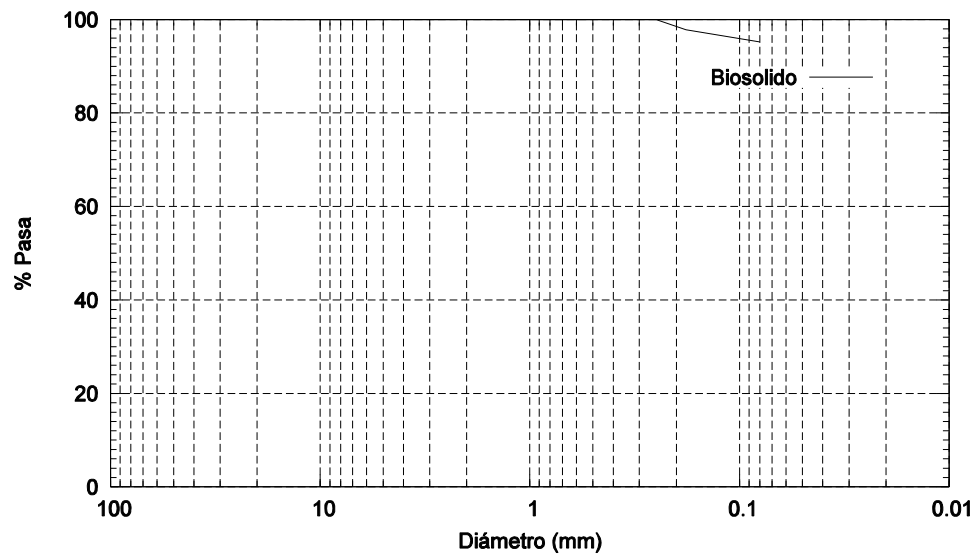


Figura 3-17: Curva Granulométrica de la cobertura Biosólido

La Tabla 3-4 presenta la clasificación de los sustratos según S.U.C.S y A.A.S.T.H.O., determinando el porcentaje de gravas, arenas y finos de cada uno.

Tabla 3-4: Resumen de resultados de clasificación de sustratos

Tipo de vegetación	S.U.C.S	A.A.S.T.H.O	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Índice de grupo	D ₆₀
Helechos	SM	A-2-4	5.1%	67.3%	27.6%	0	0.55
Sedums	SM	A-1-b	40.4%	71.2%	18.5%	0	0.95
Granizos	SM	A-1-b	26.2%	53.6%	20.1%	0	2.20
Cintas	SM	A-4	22.4%	38.6%	39.1%	1	0.34
Biosólido	ML	A-4	0.0%	4.8%	95.2%	8	N/D

N/D= No disponible

3.4 Monitoreo de las cubiertas verdes

Para el desarrollo de la investigación se realizó el análisis para las cubiertas de sedums y helechos, con el control al 2% de inclinación, debido a que durante el monitoreo se presentaron inconvenientes con el registro de información para la cubierta de control con una pendiente del 5%; las cubiertas con cintas se descartaron debido a que a finales del año 2012 la vegetación se murió (Figura 3-18).



Figura 3-18: Cubiertas verdes con cintas, a) estado inicial 2012 y b) estado final 2013

Se reemplazaron los equipos de medición de las cintas para comparar los granizos con sustrato de materiales de construcción con las instaladas con el Biosólido, sin embargo

también se descartaron debido a que en el periodo de registro se obtuvo únicamente un total de 6 tormentas

Por lo anteriormente expresado, el monitoreo de las cubiertas verdes se realizó durante el periodo del 3 de marzo de 2012 al 5 de mayo de 2013 para las 4 cubiertas verdes con sustratos reciclados (sedum y helechos) y una cubierta de control con pendiente del 2%.

3.4.1 Procedimiento para la determinación de variables con los equipos medición instalados

A continuación se presenta el procedimiento para determinar el volumen de las tormentas con los equipos de medición instalados en la investigación. Para poder definir el volumen de la tormenta se determinó una constante de conversión del volumen de agua asociado al balancín y al área de captura del pluviómetro para una precipitación de 1 mm.

Los pluviómetros instalados tienen un área de captura de la precipitación de $A = 213.82 \text{ cm}^2$, el equipo tiene una resolución de 0.01 pulgadas⁹ (0.254 mm). El volumen asociado para la resolución del equipo se calculó como:

$$V_{pluv} = \text{Área pluviómetro} [\text{cm}^2] * \text{resolución} [\text{mm}] * \frac{1 [\text{cm}]}{10 [\text{mm}]}$$

$$V_{pluv} = 213.82 [\text{cm}^2] * 0.254 [\text{mm}] * \frac{1 [\text{cm}]}{10 [\text{mm}]}$$

$$V_{pluv} = 5.431 [\text{cm}^2] = 5.431 [\text{ml}] \quad 3.1$$

Para estimar el volumen de 1 mm de precipitación se estableció el factor de conversión del volumen como:

$$\text{Factor Vol}_{pluv} = \frac{V_{pluv} [\text{ml}]}{\text{resolución} [\text{mm}]}$$

$$\text{Factor Vol}_{pluv} = \frac{5.431 [\text{ml}]}{0.254 [\text{mm}]}$$

$$\text{Factor Vol}_{pluv} = 21.382 \left[\frac{\text{ml}}{\text{mm}} \right] = 2.138 * 10^{-5} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mm}} \right] \quad 3.2$$

⁹ Información referida al manual del equipo rain collector Davis II.

El factor del volumen del pluviómetro establecido en la ecuación anterior, se utilizó para los valores de precipitación reportados en las cubiertas de la investigación y de esta forma poder determinar el volumen de cada tormenta.

3.4.2 Eventos de tormentas

Las tormentas escogidas para la evaluación fueron aquellas que generaron una descarga en las cubiertas verdes superior a 0.2 mm de profundidad en un intervalo de tiempo de 15 minutos.

En la Tabla 3-5 se presentan los eventos de tormenta seleccionados para los análisis en esta investigación.

Tabla 3-5: Eventos de tormentas seleccionadas.

Fecha de la tormenta	Intensidad máxima en la cubierta (mm/h)¹⁰	Volumen total (L)	Duración del evento (min)
24/03/2012	4.36	4.12	140
26/03/2012	3.34	1.92	100
26/03/2012	11.29	6.89	220
07/04/2012	9.75	3.32	210
10/04/2012	14.37	5.03	260
10/04/2012	10.26	19.03	500
11/04/2012	1.80	0.58	70
13/04/2012	43.88	12.46	150
14/04/2012	3.34	0.59	80
30/04/2012	4.11	10.02	450
07/05/2012	4.88	2.79	200
04/02/2013	4.36	2.49	120
04/02/2013	6.93	3.13	120
08/02/2013	10.52	3.82	100
15/03/2013	43.11	6.76	90
17/03/2013	17.45	3.48	50
17/03/2013	9.24	4.59	160
28/03/2013	31.82	3.67	50
03/04/2013	6.67	1.7	94
05/04/2013	13.86	4.05	70
11/04/2013	4.62	1.36	60
18/04/2013	7.70	7.7	326
18/04/2013	2.57	8.98	620
19/04/2013	10.01	11.46	760
20/04/2013	30.79	10.37	140
21/04/2013	2.31	2.61	230
02/05/2013	10.26	4.52	100
03/05/2013	13.86	4.59	80
04/05/2013	12.06	9.63	160
07/05/2013	4.88	4.43	240
20/05/2013	6.16	4.76	120
21/05/2013	24.38	16.03	1180
22/05/2013	6.16	1.58	70
22/05/2013	9.24	2.2	60
24/05/2013	4.88	5.09	200

¹⁰ La intensidad fue calculada a partir de los datos de precipitación reportados en la cubierta de control.

3.4.3 Definición de determinantes de calidad

Los excesos de precipitación que atravesaron los sustratos instalados, se les realizaron análisis de calidad del agua con el objetivo de determinar si en el proceso de drenaje de las cubiertas verdes existió contaminación por el lavado de los materiales que componen los sustratos, como lo indica Wallace et al. (2013).

En la Tabla 3-6 se indican los parámetros determinados en los análisis de calidad del agua desarrollados en la presente investigación.

Tabla 3-6: Determinantes de calidad del agua evaluados en la descarga de cada cubierta.

Parámetro	Unidades	Parámetro	Unidades
Acidez	mg CaCO ₃ /L	Magnesio Total	mg Mg/L
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	Manganeso Total	mg Mn/L
Aluminio Total	mg/L	Mercurio Total	mg Hg/L
Amonio	mg N/L	Níquel Total	mg Ni/L
Cadmio Total	mg Cd/L	Nitratos	mg NO ₃ -N/L
Calcio	mg Ca/L	Nitritos	mg NO ₂ -N/L
Carbono Orgánico Total	mg C/L	Nitrógeno Kjeldahl Total (NTK)	mg N/L
Cloruros	mg Cl/L	Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	pH	unidad de pH
Coliformes Totales	NMP/100 ml	Plomo Total	mg Pb/L
Color Aparente	UPC	Sodio Total	mg Na/L
DBO-5 Total	mg O ₂ /L	Sólidos Disueltos Totales	mg/L
DQO Total	mg O ₂ /L	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	Sulfatos	mg SO ₄ /L
Fósforo Total	mg P/L	Turbiedad	UNT
Hierro Total	mg Fe/L		

Por limitaciones de presupuesto no todos los parámetros de calidad del agua fueron evaluados en las tormentas en las cuales se almacenó agua para su análisis. Para poder remitir muestras al laboratorio se seleccionaron las tormentas que generaron una descarga en las cubiertas verdes superior a 4 litros, volumen mínimo requerido por el laboratorio para realizar los análisis de calidad del agua. El protocolo de muestreo seguido para la toma de muestras fue el establecido por el IDEAM (Instituto de hidrología, 2003).

4. Simulación de flujo en la zona parcialmente saturada

La descarga de la escorrentía en las cubiertas verdes y su capacidad de almacenamiento (amortiguación) está directamente relacionada con los procesos de infiltración y evapotranspiración. En esta sección se presentan los fundamentos conceptuales para entender la dinámica de flujo en los sustratos de las cubiertas verdes de la presente investigación.

4.1 Conceptos generales

En suelos parcialmente saturados, el contenido volumétrico de agua (θ) representa la fracción de agua contenida en un volumen unitario de suelo. Físicamente, el contenido de agua es función de la presión de poros (h). El contenido volumétrico de agua varía desde un valor mínimo conocido como residual (θ_r), hasta un valor máximo (θ_s) asociado al volumen de saturación del suelo. La saturación (s) representa el porcentaje del espacio de poros que está lleno de agua y es proporcional al contenido volumétrico de agua θ :

$$\theta = \phi * s \quad 4.1$$

dónde: ϕ es a la porosidad y representa el volumen de espacio de poros por unidad de volumen del suelo. La relación entre la presión de poros (h) y el contenido volumétrico de agua (θ) se representa gráficamente mediante una curva conocida como la curva de retención del suelo. Esta relación depende de la distribución de los poros en el suelo y es diferente si el proceso es de humedecimiento o secado.

La conductividad hidráulica en suelos parcialmente saturados es función de la presión de poros; por tal razón, la solución de la ecuación de flujo debe considerar su variación.

Existen modelos experimentales que permiten calcular la conductividad hidráulica en suelos con saturación parcial, uno de los modelos más destacados el propuesto por Haverkamp et al. (1977) y van Genuchten (1980).

La Figura 4-1 representa la Curva de Retención de Humedad por humedecimiento (CRH) obtenida para los sustratos de cubiertas verdes en laboratorio (ver Anexo B). Es importante destacar que las CRH de los suelos tiene una variación de 0 a 15 atm (1471 kPa), sin embargo, como se observa en la Figura 4-1, el intervalo de operación es menor: 2 atm (196 kPa). La curva obtenida para el sustrato de biosólido evidenció un mayor contenido de humedad con relación a los otros sustratos, esto es debido a que el biosólido tiene un mayor contenido de materia orgánica.

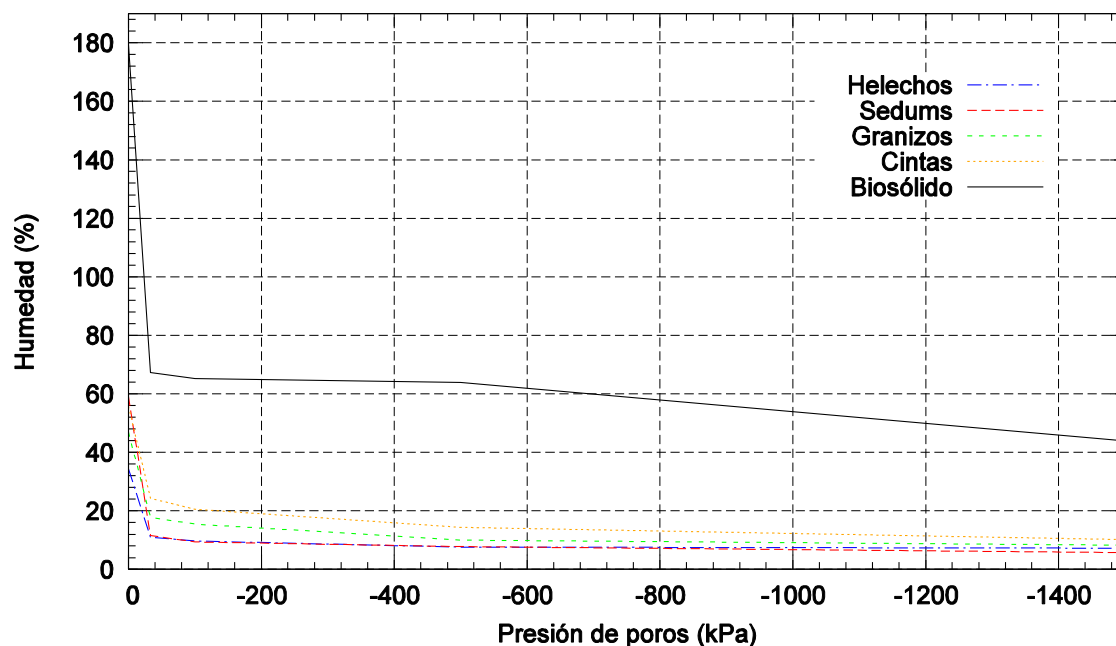


Figura 4-1: Curva de retención de humedad¹¹

Analíticamente, el modelo desarrollado en la investigación se apoyó en la ecuación de Richards para resolver el flujo en medios porosos parcialmente saturados. Esta ecuación relaciona el contenido volumétrico de agua, la conductividad hidráulica y la presión de poros (Allen & Murphy, 1986).

¹¹ El porcentaje de retención de humedad corresponde al gravimétrico.

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} - \nabla * [K(h) * \nabla h] - \frac{\partial K(h)}{\partial z} = 0 \quad 4.2$$

dónde: $\theta(h)$ representa el contenido volumétrico de agua [L^3/L^3]; $k(h)$ representa la función de conductividad hidráulica [L/T]; h representa la presión del agua en los poros [L]; t representa el tiempo [T]; x representa la coordenada horizontal; z representa la coordenada vertical tomada positiva hacia arriba; y ∇ representa el operador divergencia.

El modelo adoptado para la solución de la ecuación de Richards corresponde al Modelo de Medio Continuo Equivalente (MMCE). La Figura 4-2 representa las entradas y salidas presentes en un volumen de control ubicado en la zona parcialmente saturada. Para determinar la solución de la ecuación de Richards es necesario estimar expresiones que permitan calcular el contenido volumétrico de agua y la conductividad hidráulica como función de la presión de poros. En la literatura existen expresiones matemáticas (de origen empírico) que permiten calcular las anteriores funciones hidráulicas. En esta investigación, se adoptó el modelo Mualem - Van Genuchten. Este modelo agrupa la expresión propuesta por (Mualem, 1976), para el cálculo de la conductividad hidráulica; y la propuesta (van Genuchten, 1980), para el cálculo del contenido volumétrico de agua.

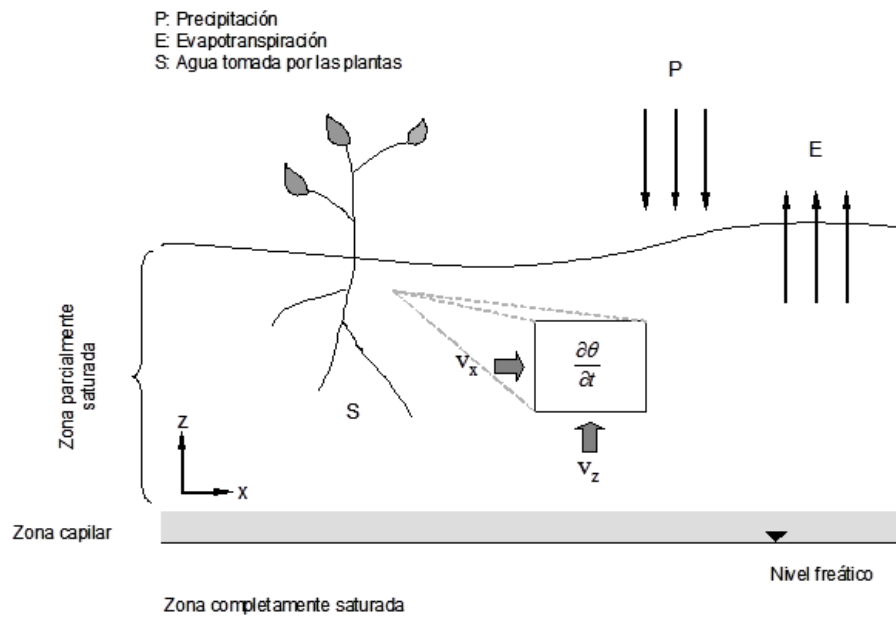


Figura 4-2: Balance del volumen de control en la zona parcialmente saturada

La ecuación 4.3 fue propuesta por (Mualem, 1976) y expresa la conductividad hidráulica $K(s_e)$ como función de: el contenido volumétrico de agua normalizado, s_e [L/L]; la conductividad hidráulica en estado completo de saturación, K_s [L/T] y un parámetro m [L/L] característico del medio poroso.

$$K(s_e) = K_s * s_e^{1/2} * \left[1 - \left(1 - s_e^{1/2}\right)^m\right]^2 \quad 4.3$$

El contenido volumétrico de agua normalizado se define como se muestra en la ecuación 4.4 y fue propuesta por (van Genuchten, 1980). Esta ecuación permite calcular el contenido volumétrico de agua normalizado s_e en función de: la presión de poros h , el contenido volumétrico de agua residual θ_r , el contenido volumétrico de agua en estado de saturación θ_s . Los parámetros n y α son particulares al medio poroso.

$$s_e(h) = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = f(x) = \begin{cases} (I + |\alpha h|^n)^{I-n/n}, & h < 0 \\ I, & h \geq 0 \end{cases} \quad 4.4$$

Las suposiciones expuestas a continuación se adoptaron para la solución del modelo de medio continuo equivalente (MMCE), la cual se consiguió aplicando el paquete computacional SWMS-2D (Simunek J., Huang K., 1994), distribuido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Esta herramienta computacional permite simular el movimiento en dos dimensiones del agua y el soluto en un medio parcialmente saturado.

Las condiciones de frontera del modelo fueron las siguientes: una precipitación de entrada (Figura 4-3 a), paredes laterales y del extremo superior de la cubierta verde impermeables (Figura 4-3 a y b) y una salida a flujo libre en el extremo inferior (Figura 4-3 b).



Figura 4-3: Condiciones de frontera para la modelación numérica

La malla para representar las cubiertas verdes requerida para la modelación numérica en SWMS-2D se generó en HYDRUS (Figura 4-4), con un total de 178 nodos (Figura 4-5).

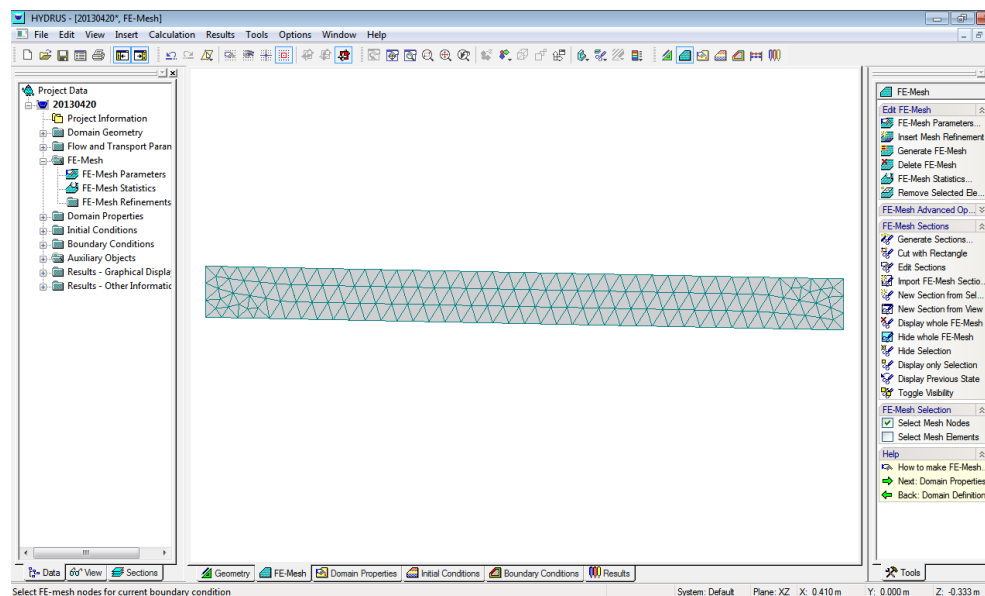


Figura 4-4: Esquema de la malla de elementos finitos

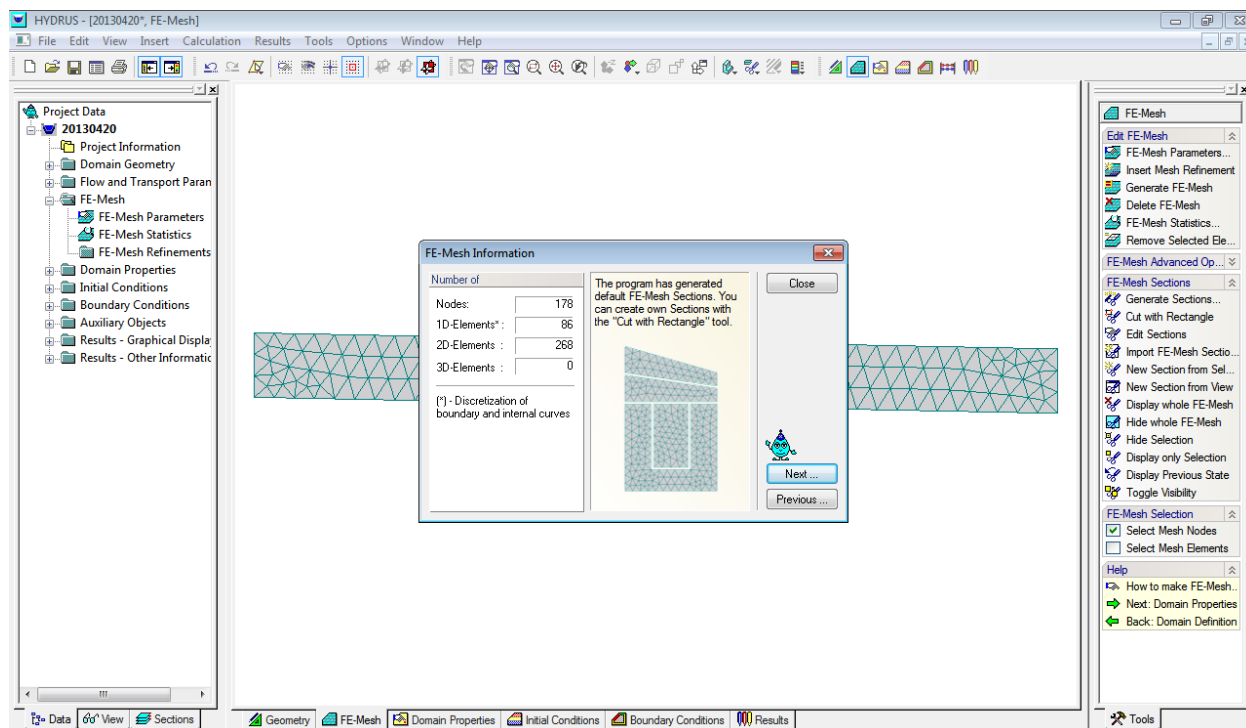


Figura 4-5: Propiedades de la malla de elementos finitos

Para la modelación, se determinaron las condiciones iniciales de contenido de humedad de los sustratos a través del sensor de contenido de humedad (Figura 4-6), para ello se realizaron tres medidas a una profundidad de 0.04 m en la cubierta verde.



Figura 4-6: Sensor de contenido de humedad

Los puntos de medición (P1, P2 y P3) para determinar las condiciones iniciales de humedad de los sustratos se localizan en una diagonal desde la esquina superior hasta la esquina inferior contraria de cada cubierta verde (Figura 4-7)

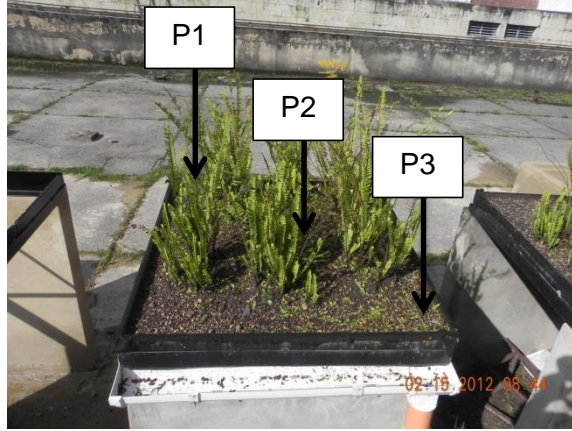


Figura 4-7: Puntos para el monitoreo del contenido inicial de humedad

En el Anexo D, se reportan los valores de contenido de humedad determinados en la investigación, para los tres puntos de cada cubierta verde, sedums (extensivas) y helechos (intensivas).

4.2 Algoritmo de optimización

En esta investigación se usa un método Bayesiano para la calibración y validación del modelo de flujo en la zona parcialmente saturada. La calibración de los parámetros del modelo de flujo se efectuó relacionando los datos observados y los estimados por el modelo. Los parámetros que se deben calibrar para representar el flujo observado a la descarga de las cubiertas verdes son: el contenido volumétrico de agua residual (θ_r), contenido volumétrico de saturación (θ_s), conductividad hidráulica en estado de saturación (K_s) y los parámetros (α) y (n) particulares de los sustratos instalados.

$$Q_{salida\ obs.}^i = Q_{salida\ est.}^i(x^i, \theta) + \varepsilon^i \quad i = 1, \dots, m \quad 4.5$$

dónde: $Q_{salida\ obs.}^i$ corresponde al caudal de salida observado; $Q_{salida\ est.}^i(x^i, \theta)$ corresponde al caudal de salida estimado; i corresponde al número de la muestra; m corresponde al número total de la muestra; x corresponde al conjunto de variables de entrada (precipitación y contenido volumétrico de agua inicial en los sustratos); θ corresponde al conjunto de parámetros (θ_r , θ_s , α , n , K_s , σ); y ε corresponde al residuo.

Para obtener la distribución de probabilidad posteriori (DPP) se implementa el teorema de Bayes, el cual establece que el estado actual de los parámetros es proporcional a la función de verosimilitud multiplicada por la probabilidad apriori. La DPP se escribe como:

$$P(\theta|Q_{salida\ obs.}) = \frac{P(Q_{salida\ obs.}|\theta)*P(\theta)}{P(Q_{salida\ obs.})} = \frac{P(Q_{salida\ obs.}|\theta)*P(\theta)}{\int P(Q_{salida\ obs.})*P(\theta)d\theta} \quad 4.6$$

dónde: $P(\theta|Q_{salida\ obs.})$ corresponde a DPP; $P(\theta)$ corresponde a la probabilidad apriori; $P(Q_{salida\ obs.}|\theta)$ corresponde a la función de verosimilitud; y $P(Q_{salida\ obs.})$ corresponde al factor normalizado que representa la probabilidad de obtener el caudal observado.

Para simplificar los tiempos de cómputo, se implementó el algoritmo de búsqueda conocido como Cálculo Bayesiano Aproximado (CBA)¹² (Vrugt y Sadegh, 2013). El CBA requiere de índices que puedan representar físicamente el problema deseado a resolver. En esta investigación se propone el Índice de Retención de Humedad (IRH), el cual puede ser calculado como $IRH = 1 - \left(\frac{\text{Volumen de salida}}{\text{Volumen de entrada}} \right)$.

dónde : Volumen de entrada corresponde al volumen de la cubierta de control y el volumen de salida corresponde al volumen de las cubiertas verdes.

La aproximación del CBA asume que θ^* , un conjunto de valores aleatorio (θ , θ_s , α , n , K_s , σ), pertenece a la DPP siempre que la distancia p entre los valores observados Y_{obs} y los simulados Y_{sim} sea menor a un valor ε .

$$\rho(Y_{obs}, Y_{sim}(\theta^*)) = \max(|IRH(Y_{obs}) - IRH(Y_{est}(\theta^*))|) \leq \varepsilon \quad 4.7$$

¹² (ABC) Approximate Bayesian Computation, de sus siglas en Inglés

5. Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados y sus análisis, los cuales se describen en las siguientes secciones: i) resultados de flujo del monitoreo, ii) modelación numérica de flujo en los sustratos y iii) calidad del agua a la descarga de las cubiertas verdes.

5.1 Monitoreo de la esorrentía

Los eventos de tormenta presentados en la Tabla 3-5 fueron los seleccionados para su análisis debido a que generaron una descarga, en las cubiertas verdes, superior a 0.2 mm de profundidad en un intervalo de tiempo de 15 minutos. La comparación y determinación de la capacidad de atenuación y retardo de los excesos de esorrentía de las cubiertas verdes, se realizó con el cálculo del tiempo al centroide (t_c), el tiempo de retardo (t_{lag}) y el porcentaje de reducción de caudal (%*red*).

El tiempo al centroide se define como el tiempo al centro de gravedad del hietograma de precipitación de la tormenta y se representa como:

$$t_c = \frac{\sum V_i * t_i}{V_t} \quad 5.1$$

dónde: V_i [L³] corresponde al volumen en el tramo i , V_t [L³] corresponde al volumen total de la precipitación.

El tiempo de retardo se define aquí como la diferencia entre el tiempo al centroide de la hidrógrafa de la cubierta de control y el tiempo al centroide de la hidrógrafa de la cubierta verde:

$$t_{lag} = |t_{c \text{ entrada}} - t_{c \text{ salida}}| \quad 5.2$$

El porcentaje de reducción de caudal se define como la cantidad de agua retenida de la cubierta verde con relación al caudal de entrada de la cubierta de control:

$$\%red = \frac{Q_{m\acute{a}x\ entrada} - Q_{m\acute{a}x\ salida}}{Q_{m\acute{a}x\ entrada}} \quad 5.3$$

En la Figura 5-1 se muestra la variación del caudal de salida, en el control y las cubiertas verdes, para el evento de tormenta del 2012-03-26. El caudal máximo de la cubierta de control se presentó a los 15 minutos con un valor de $0.31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, el caudal máximo de los helechos al 5% se presenta a los 122 minutos con un valor de $0.11 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, en el caso de los helechos al 2% se evidenció a los 120 minutos con un valor de $0.06 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Los sedums presentaron el caudal máximo a los 119 minutos y 117 minutos, caudales de $0.10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.11 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ en los de 2% de inclinación y 5% de inclinación respectivamente.

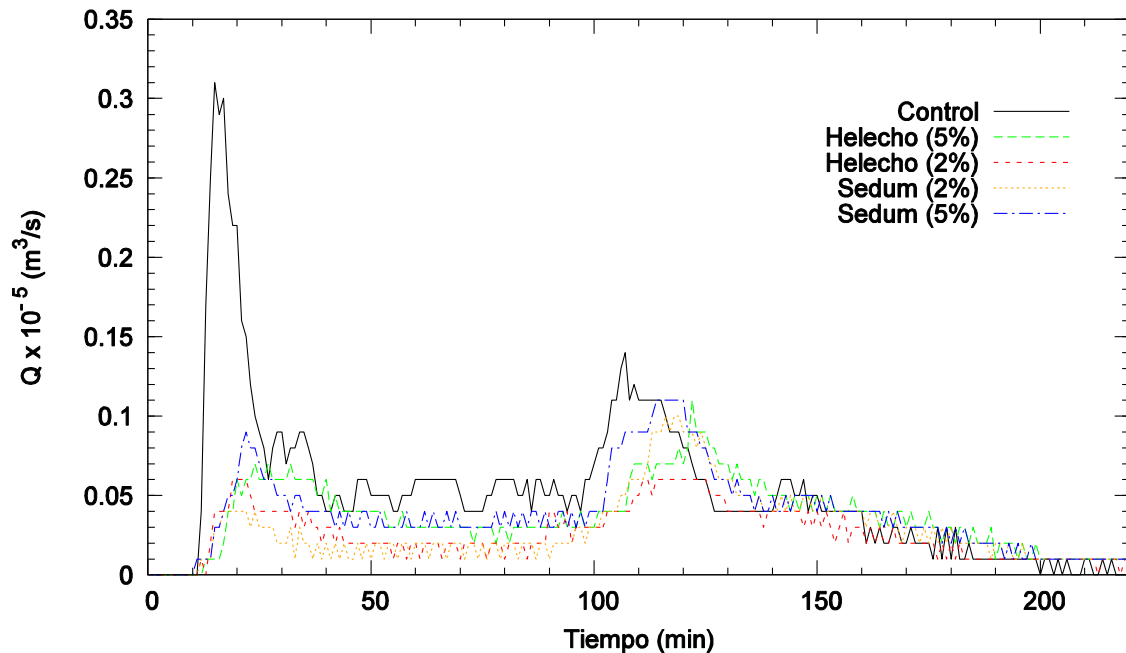


Figura 5-1: Hidrógrafas de salida de la tormenta 26-03-2012

En la Figura 5-1 se puede observar que existe una diferencia importante entre los excesos de escorrentía drenados en la cubierta de control en comparación con los generados por las cubiertas verdes. El caudal máximo en el control, en comparación con las cubiertas verdes, presenta una atenuación del 70% ($Q_{max}=3.1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ en el control, $Q_{m\acute{a}x}=0.9$

$\times 10^{-5}$ m³/s CV) y un retardo de 15 minutos. El segundo incremento de la escorrentía ocurre a los 110 minutos. En este caso la atenuación de caudal no es tan importante en comparación con el primer incremento, evidenciando una atenuación de alrededor de un 10% ($Q_{\text{max}}=0.15 \times 10^{-5}$ m³/s en el control, $Q_{\text{máx}}=0.13 \times 10^{-5}$ m³/s CV) y un retardo de 10 minutos. En la Tabla 5-1 se presenta el resumen de resultados de la tormenta del 2012-03-26, encontrando que para esta tormenta la cubierta verde de 2% de inclinación y con vegetación de helechos, fue la que más redujo el exceso de escorrentía (80%) y la cubierta de sedums al 5% la que menos redujo (64%).

Tabla 5-1: Resumen de resultados tormenta 26-03-2012

Tipo de cubierta	Volumen Total (10^{-5} m ³ /)	Caudal máximo (10^{-5} m ³ /s)	Tiempo al centroide (min)	Tiempo de retraso (min)	Porcentaje de reducción (%)
Helecho 5%	485	0.11	105	26	66%
Helecho 2%	347	0.06	104	24	80%
Control 2%	689	0.31	79	N/A	N/A
Sedums 2%	391	0.10	115	36	68%
Sedums 5%	507	0.11	105	26	64%

N/A= No Aplica

En la Figura 5-1, las cubiertas verdes de menor pendiente almacenaron los excesos de caudal en mayor proporción que las de mayor pendiente. La cubierta de sedums en comparación con las cubiertas de helechos, retuvieron una menor cantidad de agua.

En la Figura 5-2, se presenta una curva adimensional que relaciona la precipitación y el tiempo para la tormenta del 26-03-2012. En esta figura se evidencia que los excesos de precipitación del evento de lluvia son atenuados por las cubiertas verdes, debido a que para el 60% del tiempo, drenó el 90% de la precipitación en la cubierta de control y para el caso de las cubiertas verdes se drenó entre el 60% y el 70% del evento.

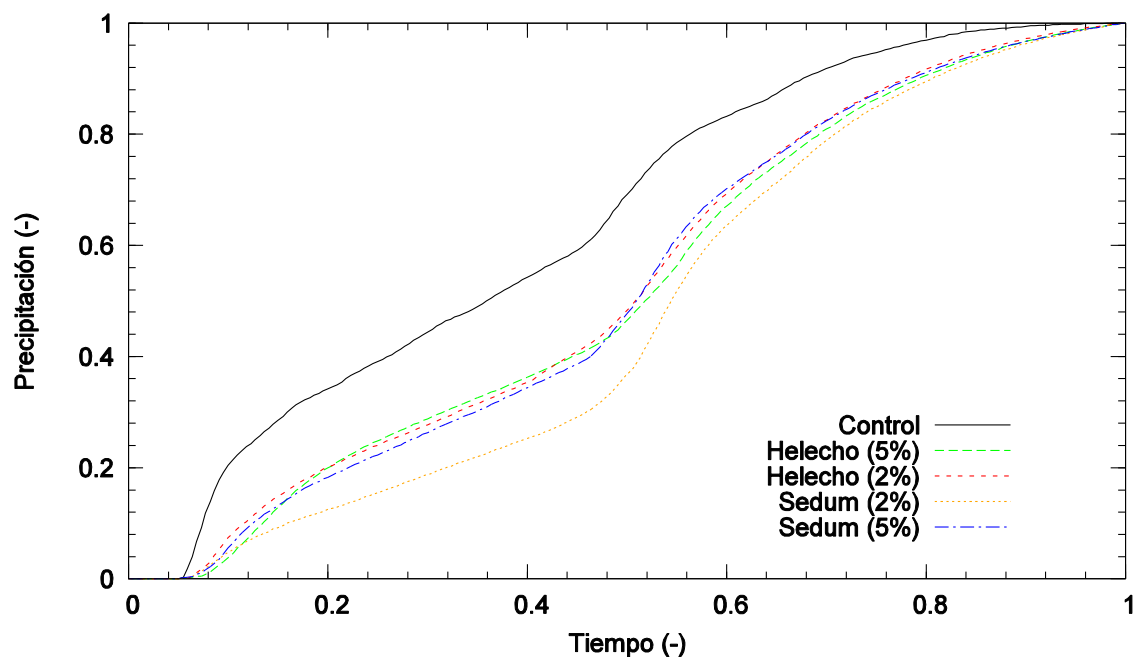


Figura 5-2: Curva adimensional de precipitación, tormenta 26-03-2012

La Tabla 5-2 presenta los resultados de la curva adimensional de precipitación: para el 60% del tiempo, el 83% de la tormenta (expresado como altura de lámina de agua), pasó por la cubierta de control, mientras que para las cubiertas verdes se tienen valores inferiores.

Tabla 5-2: Resultados del 60% del tiempo para la tormenta de 26-03-2012

Tipo de cubierta	% tiempo	% precipitación
Helecho 5%	60%	67%
Helecho 2%	60%	69%
Control 2%	60%	83%
Sedums 2%	60%	64%
Sedums 5%	60%	70%

El evento de tormenta del 10-04-2012 presenta un comportamiento diferente con relación a la tormenta descrita anteriormente. En esta ocasión las cubiertas verdes redujeron poco los excesos de precipitación, generando descargas cercanas a la de la cubierta de control (Figura 5-3).

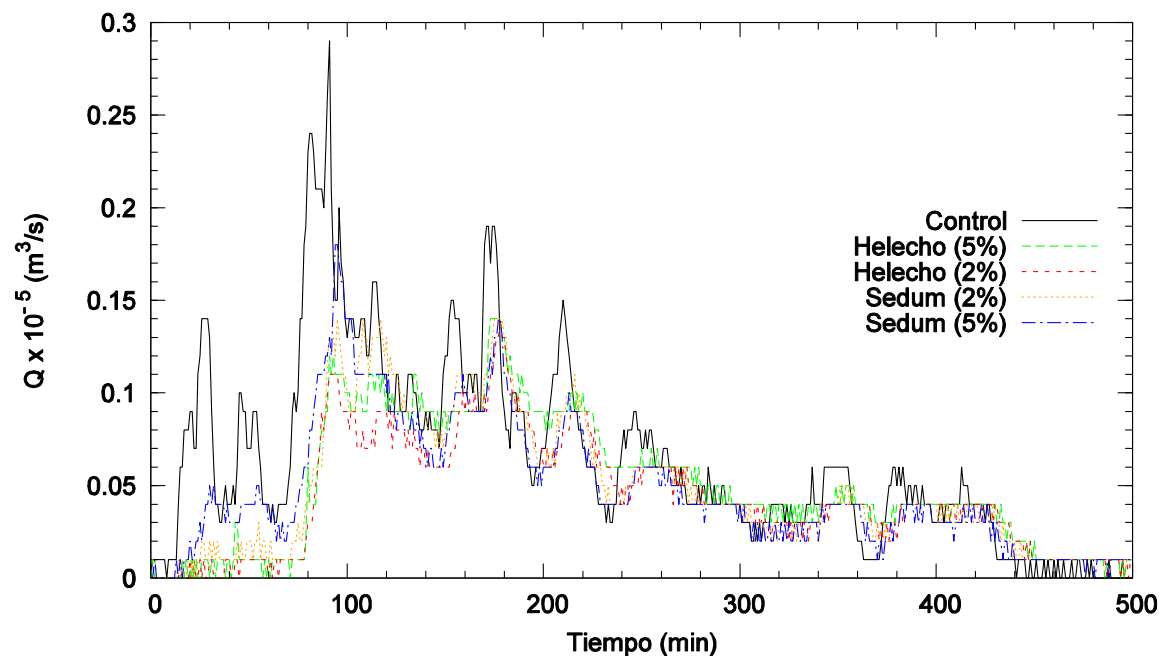


Figura 5-3: Hidrógrafas de salida de la tormenta del 10-04-2012

El volumen total de la escorrentía en la cubierta de control correspondió a $1903 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, los de las cubiertas verdes fueron entre $1280 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ a $1460 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, con unos porcentajes de reducción de caudal entre el 38% y el 53% (Tabla 5-3). Los resultados de esta tormenta nuevamente indicaron que las cubiertas de menor pendiente retuvieron una mayor cantidad de agua que las de mayor pendiente (VanWoert et al., 2005); así como las cubiertas de helechos retuvieron una mayor cantidad en comparación con los sedums (Tabla 5-3).

Tabla 5-3: Resumen de resultados tormenta 10-04-2012

Tipo de cubierta	Volumen Total (10^{-5} m³)	Caudal máximo (10^{-5} m³/s)	Tiempo al centroide (min)	Tiempo de retraso (min)	Porcentaje de reducción (%)
Helecho 5%	1.466	0.14	223	44	50%
Helecho 2%	1.281	0.14	226	47	53%
Control 2%	1.903	0.29	179	N/A	N/A
Sedums 2%	1.433	0.14	211	32	50%
Sedums 5%	1.416	0.18	199	20	38%

N/A= No Aplica

En la Tabla 5-4 se presentan los resultados adimensionales de escorrentía para un tiempo adimensional igual a 60% de la tormenta del 10-04-2012. La cubierta de control descargó el 84% y en esta ocasión la cubierta verde de sedums con 5% de inclinación drenó un 81%, valor cercano al del control (Figura 5-4).

Tabla 5-4: Resultados del 60% del tiempo para la tormenta de 10-04-2012

Tipo de cubierta	% tiempo	% precipitación
Helecho 5%	60%	77%
Helecho 2%	60%	76%
Control 2%	60%	84%
Sedums 2%	60%	79%
Sedums 5%	60%	81%

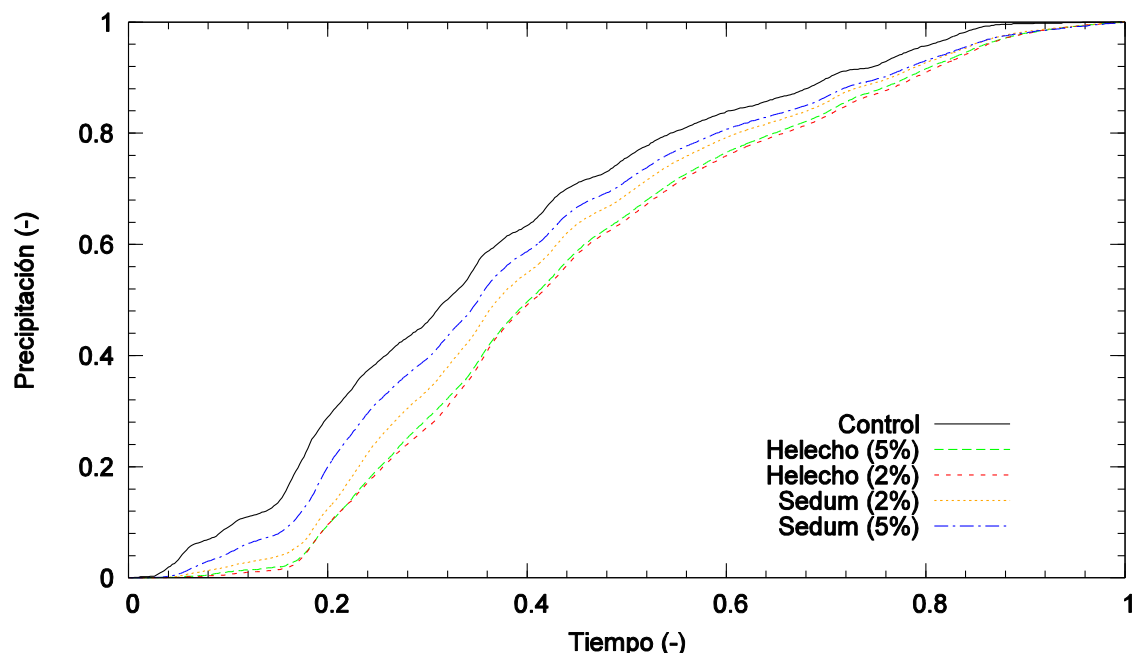


Figura 5-4: Curva adimensional de precipitación, tormenta 10-04-2012

En la Figura 5-5 se presentan los resultados de la tormenta del 08-02-2013 con una duración de 70 minutos. Este evento presenta 5 puntos máximos de caudal drenado por la cubierta de control, a los 4, 12, 20, 34 y 48 minutos; sin embargo, las cubiertas verdes (Figura 5-5) presentaron 3 puntos máximos, a los 20, 38 y 52 minutos. En esta tormenta se evidencia la capacidad de las cubiertas verdes para atenuar y retardar los excesos de escorrentía de una tormenta, al poder absorber el primer punto máximo de la tormenta con un $Q_{\text{control}} = 0.31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ a los 5 minutos, para los sedums al 5% $Q_{\text{sedum 5\%}} = 0.13 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ a los 20 minutos, sedums al 2% $Q_{\text{sedum 2\%}} = 0.09 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ a los 20 minutos, helechos al 5% $Q_{\text{helechos 5\%}} = 0.10 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ a los 20 minutos y helechos al 2% $Q_{\text{helechos 2\%}} = 0.09 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ a los 20 minutos.

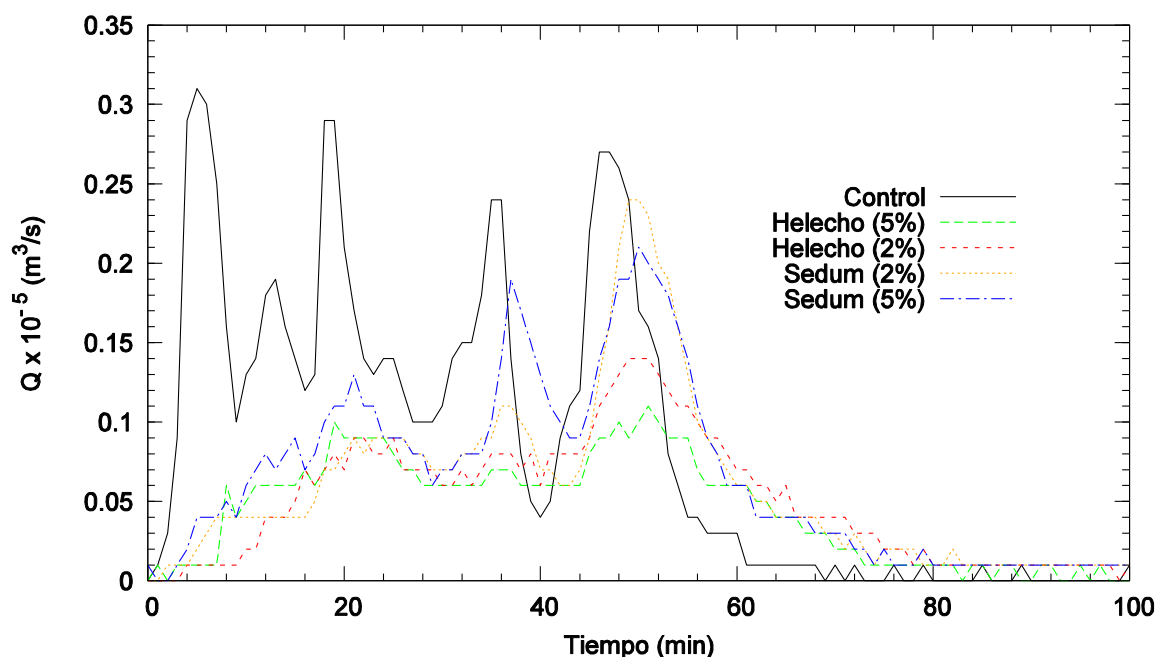


Figura 5-5: Hidrógrafas de salida de la tormenta del 08-02-2013

Los resultados de esta tormenta (Tabla 5-5) no concuerdan con los resultados analizados en las tormentas anteriores, debido a que las cubiertas de menor pendiente retuvieron en una menor cantidad los excesos de caudal que las de mayor pendiente. Lo anterior puede suceder debido a que las cubiertas de menor pendiente tendrían, al inicio de la tormenta, una menor capacidad de almacenamiento asociada a un alto contenido de agua inicial en el sustrato.

Tabla 5-5: Resumen de resultados tormenta 08-02-2013

Tipo de cubierta	Volumen Total (10^{-5} m ³)	Caudal máximo (10^{-5} m ³ /s)	Tiempo al centroide (min)	Tiempo de retraso (min)	Porcentaje de reducción (%)
Helecho 5%	242	0.11	42	7	65%
Helecho 2%	293	0.14	45	10	56%
Control 2%	382	0.31	35	N/A	N/A
Sedums 2%	332	0.24	46	10	21%
Sedums 5%	366	0.21	43	8	33%

N/A= No Aplica

En la Figura 5-6 y en la Tabla 5-6 se presenta la curva adimensional de escurrentía y los porcentajes de escurrentía asociados al 60% de duración de la tormenta, en donde la cubierta de control drena el 98% del evento y las cubiertas verdes drenaron entre el 82% al 88% de la tormenta.

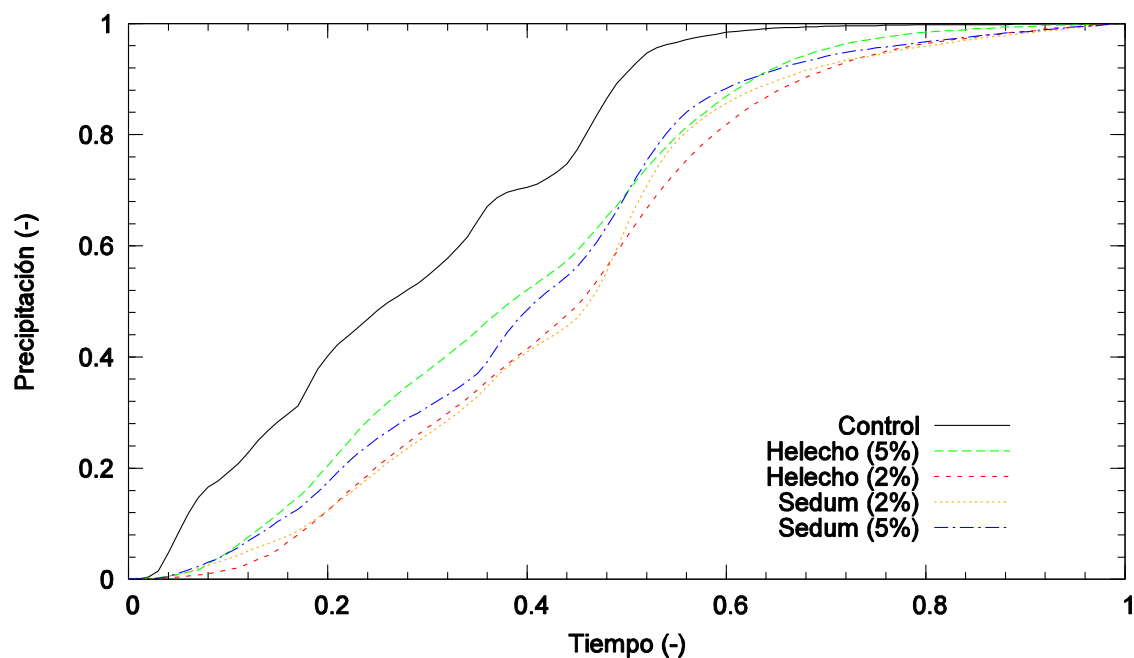


Figura 5-6: Curva adimensional de precipitación, tormenta 08-02-2013

Tabla 5-6: Resultados del 60% del tiempo para la tormenta de 08-02-2013

Tipo de cubierta % tiempo % precipitación

Helecho 5%	60%	87%
Helecho 2%	60%	82%
Control 2%	60%	98%
Sedums 2%	60%	86%
Sedums 5%	60%	88%

En la tormenta del 4 de mayo del 2013 también se evidencia la capacidad de atenuación y retardo de las cubiertas (Figura 5-7); sin embargo, esta tormenta también presenta unos resultados en donde las cubiertas de mayor pendiente retienen una mayor cantidad que las de menor pendiente (Tabla 5-7.).

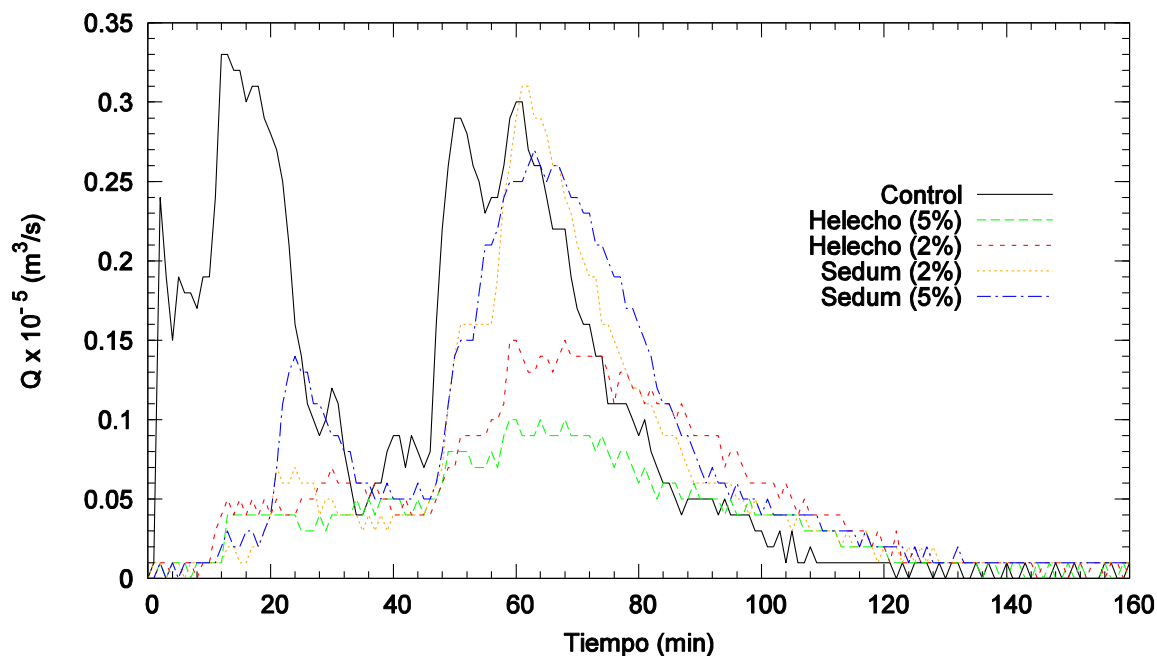


Figura 5-7: Hidrógrafas de salida de la tormenta del 04-05-2013

Tabla 5-7: Resumen de resultados tormenta 04-05-2013

Tipo de cubierta	Volumen Total (10^{-5} m ³)	Caudal máximo (10^{-5} m ³ /s)	Tiempo al centroide (min)	Tiempo de retraso (min)	Porcentaje de reducción (%)
Helecho 5%	366	0.10	66	21	70%
Helecho 2%	524	0.15	69	24	55%
Control 2%	963	0.33	44	N/A	N/A
Sedums 2%	631	0.31	68	24	9%
Sedums 5%	721	0.27	66	21	19%

N/A= No Aplica

5.1.1 Resumen y análisis de resultados

En general, y para todas las tormentas, se evidenció la atenuación y retardo de los excesos de caudal máximo en las cubiertas verdes. El desempeño de las cubiertas se evaluó comparando características como la reducción de los excesos de caudal máximo en la descarga, el porcentaje de atenuación del caudal máximo y el tiempo de retardo, calculado como la diferencia entre el tiempo al centroide del hidrograma de entrada y de salida. En promedio, se registró un 75% de reducción de caudal máximo en las cubiertas intensivas (helechos) y un 64% en las extensivas (sedums), para una inclinación del 2% (Tabla 5-8). Para las cubiertas de mayor inclinación (5%), se registró un 72% (helechos) y un 61% (sedums) de reducción de caudal máximo (Tabla 5-8).

Tabla 5-8: Valores promedio de parámetros de comparación

Tipo de cubierta	Volumen total (10^{-5} m^3)	Caudal máximo ($10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$)	Tiempo de retraso (min)	Porcentaje de reducción (%)
Helechos 5%	0.98	0.04	14.68	72%
Helechos 2%	1.19	0.04	15.02	75%
Control 2%	4.43	0.26	N/A	N/A
Sedums 2%	0.92	0.04	14.87	64%
Sedums 5%	1.75	0.06	21.42	61%

Los valores extremos de los eventos de tormenta se presentan en la Tabla 5-9. En esta tabla se observa que no siempre para una mayor pendiente se observa una menor capacidad de retención: los helechos al 5% retuvieron un mayor porcentaje que aquellos al 2%. En el Anexo C se presentan los resultados y gráficas de todos los eventos de tormenta.

Tabla 5-9. Resumen de resultados para cada cubierta

Tipo de cubierta	Volumen total mínimo (10^{-5} m^3)	Volumen total máximo (10^{-5} m^3)	Caudal máximo menor ($10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$)	Caudal máximo mayor ($10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$)	Tiempo de retraso mínimo (min)	Tiempo de retraso máximo (min)	Porcentaje de reducción mínimo (%)	Porcentaje de reducción máximo (%)
Helechos 5%	0.06	14.66	0.01	0.43	2.64	74.41	14%	98%
Helechos 2%	0.10	12.81	0.01	0.43	2.83	107.34	53%	97%
Control 2%	0.58	19.03	0.05	1.22	N/A	N/A	N/A	N/A
Sedums 2%	0.05	14.33	0.01	1.03	2.25	123.96	9%	98%
Sedums 5%	0.05	14.16	0.01	0.81	0.60	104.85	0%	96%

N/A= No Aplica

Con los diferentes resultados del programa de monitoreo se realizó un análisis estadístico aplicando la prueba ANOVA¹³. La prueba permite comparar las medias de varios grupos, a través del análisis de la varianza, determinando si los grupos son iguales o diferentes respecto a sus medias; analizando la diferencia entre la variación de cada individuo y la media de su grupo y la variación entre la media de cada grupo y la media global. En la Tabla 5-10 se presentan los estadísticos de la prueba ANOVA para los caudales máximos, dando como resultado que existe una diferencia estadística entre el control y las cubiertas verdes (valor- $p^{14} < 0.05$). También se realizó la prueba para definir si existe diferencia estadística entre i) las cubiertas verdes de sedums y helechos, ii) las pendientes del 5% y 2%, iii) entre los helechos con diferentes pendientes y iv) entre los sedums con diferentes pendientes. Para estos grupos de análisis, se encontró que no existe diferencia estadística (valores $-p > 0.05$), lo cual evidencia el poco efecto de la pendiente y el tipo de vegetación. En general, las cubiertas verdes mostraron una capacidad de atenuación y retardo; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre el tipo de vegetación y pendiente.

Tabla 5-10: Estadísticas para caudales máximos

Escenario	Caudal máximo de salida $10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$				
	μ_{G1}	σ_{G1}	μ_{G2}	σ_{G2}	valor-P
Control (G1) - Helechos (G2)	0.32	0.30	0.07	0.09	1.13E-05
Control (G1) - Sedums (G2)	0.32	0.30	0.11	0.18	7.21E-04
Helechos (G1) - Sedums (G2)	0.07	0.09	0.11	0.18	0.21
Pendiente 5% (G1) - Pendiente 2% (G2)	0.09	0.12	0.09	0.14	0.93
Helechos 5% (G1) - Helechos 2% (G2)	0.07	0.08	0.07	0.09	0.81
Sedums 5% (G1) - Sedums 2% (G2)	0.12	0.16	0.11	0.20	0.80

En la Figura 5-8 se presentan los resultados de los estadísticos de los caudales máximos de las cubiertas verdes. Se observan varios valores atípicos en todas las cubiertas verdes. Se evidencia la diferencia entre la mediana de la cubierta de control y las cubiertas verdes, siendo menor la de estas últimas.

¹³ ANalysis Of VAriance, de sus siglas en Inglés

¹⁴ El valor-p corresponde al valor que aprueba o rechaza la hipótesis estadística.

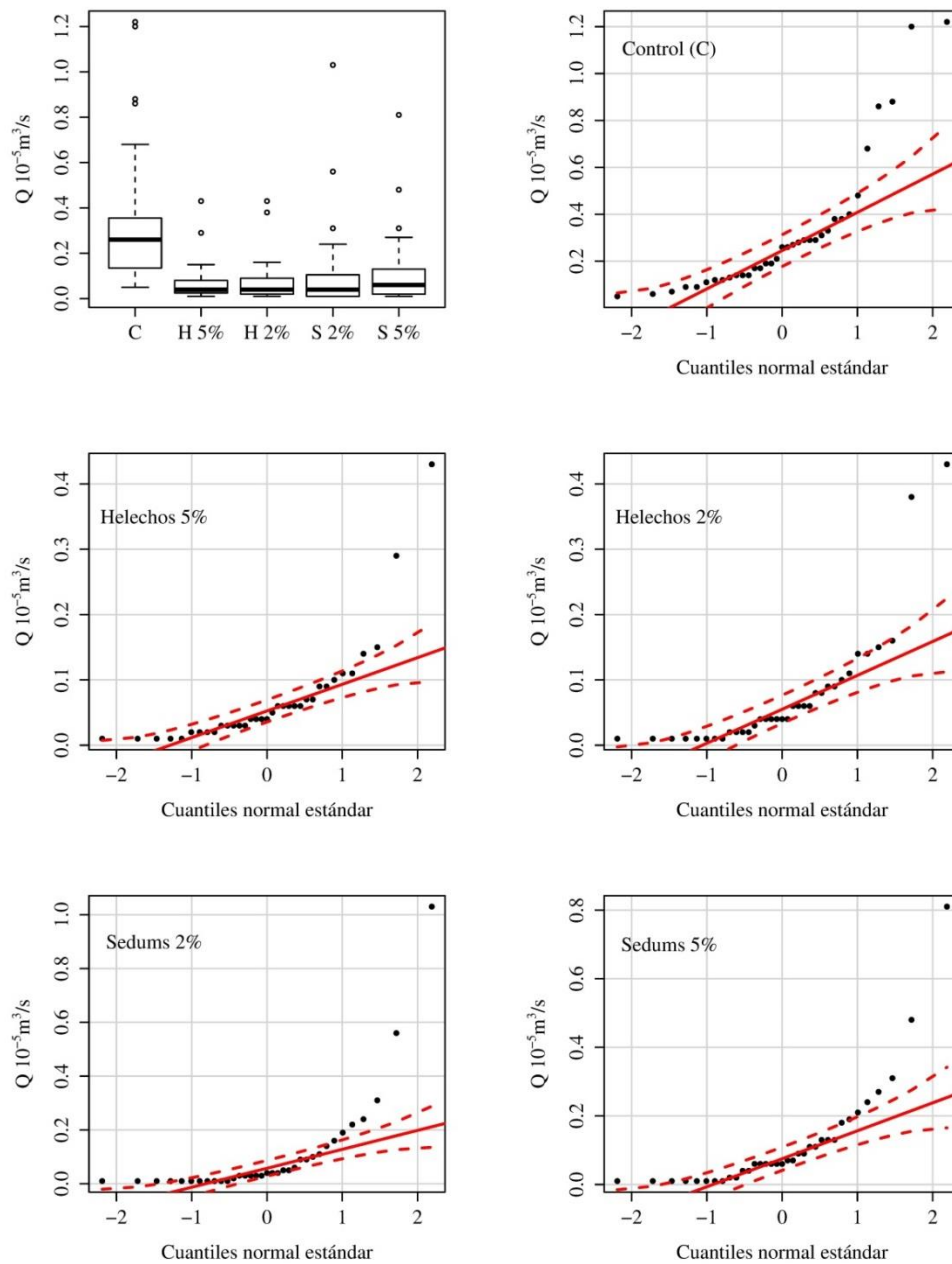


Figura 5-8: Diagramas de cajas de caudales máximos de las cubiertas

Los resultados de los volúmenes se compararon a través la prueba ANOVA, con los grupos que se presentan en la Tabla 5-11. Para este escenario, nuevamente se evidencia una diferencia estadística entre las cubiertas verdes y el control (valor- $p < 0.05$) para los grupos 1 y 2.

Tabla 5-11: Estadísticas para volúmenes de tormentas

Escenario	Volumen de agua evacuado (10^{-5} m^3)				
	μ_{G1}	σ_{G1}	μ_{G2}	σ_{G2}	valor-P
Control (G1) - Helechos (G2)	5.59	4.31	2.15	2.90	2.07E-04
Control (G1) - Sedums (G2)	5.59	4.31	2.84	3.73	5.68E-03
Helechos (G1) - Sedums (G2)	2.15	2.90	2.84	3.73	0.39
Pendiente 5% (G1) - Pendiente 2% (G2)	2.58	3.19	2.41	3.29	0.82
Helechos 5% (G1) - Helechos 2% (G2)	2.05	3.00	2.24	2.94	0.79
Sedums 5% (G1) - Sedums 2% (G2)	3.11	3.81	2.57	3.69	0.55

En los diagramas de cajas para los volúmenes drenados por las cubiertas (Figura 5-9), se evidencia igualmente la diferencia estadística, la mediana del control presenta un caudal de $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ y las cubiertas verdes están alrededor de un valor de $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3$.

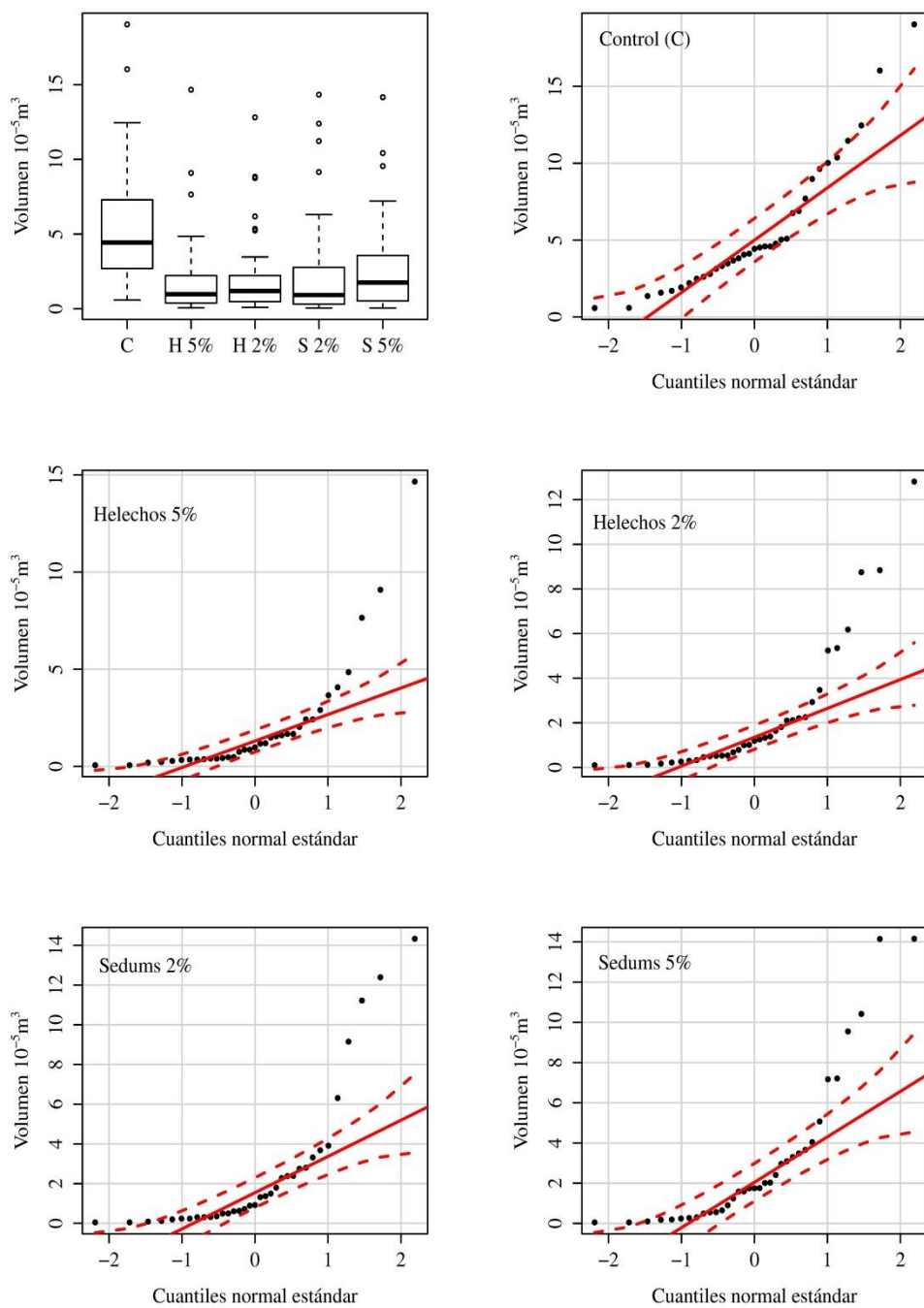


Figura 5-9: Diagramas de cajas de volúmenes de las cubiertas

La prueba ANOVA también se utilizó para encontrar diferencias estadísticas entre los tiempos de retardo encontrados para cada cubierta verde (Tabla 5-12).

Tabla 5-12: Estadísticas para tiempo de retardo de caudal de tormentas

Escenario	Tiempo de retraso (min)				valor-P
	μ_{G1}	σ_{G1}	μ_{G2}	σ_{G2}	
Control (G1) - Helechos (G2)	0.00	0.00	20.69	19.69	3.52E-08
Control (G1) - Sedums (G2)	0.00	0.00	23.89	22.46	2.58E-08
Helechos (G1) - Sedums (G2)	20.69	19.69	23.89	22.46	0.53
Pendiente 5% (G1) - Pendiente 2% (G2)	21.25	17.29	23.33	24.59	0.68
Helechos 5% (G1) - Helechos 2% (G2)	19.31	17.16	22.07	22.95	0.57
Sedums 5% (G1) - Sedums 2% (G2)	23.19	21.42	24.59	26.94	0.81

En la Figura 5-10 se presentan los diagramas de cajas del tiempo de retardo para cada cubierta verde.

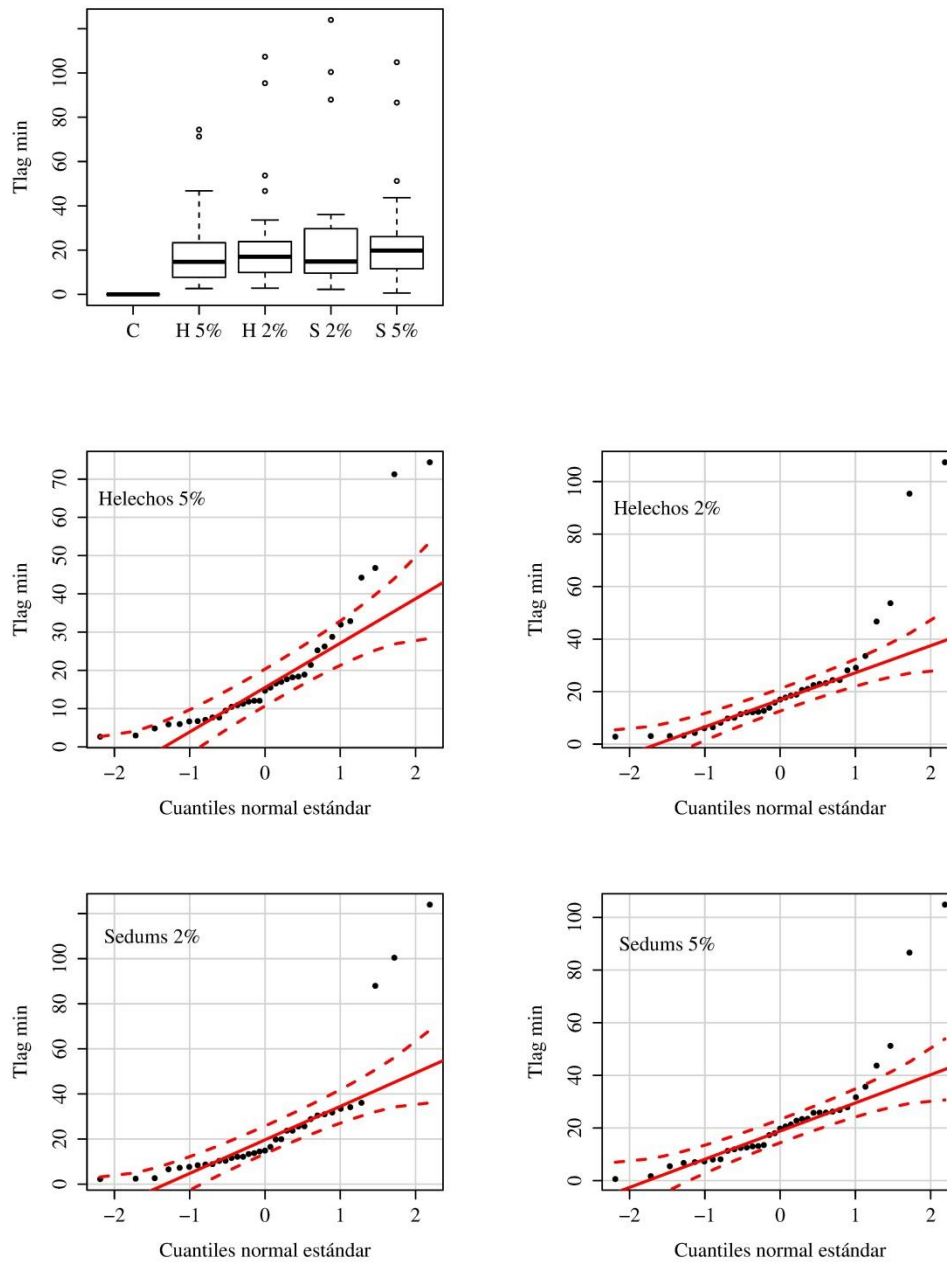


Figura 5-10: Diagramas de cajas de tiempo de retardo de las cubiertas

El porcentaje de reducción de los excesos de caudal de las cubiertas verdes se evaluó estadísticamente, resultados que sugieren (valor- $p < 0.05$) que estas cubiertas tienen una buena capacidad para el almacenamiento de estos excesos (Tabla 5-13)

Tabla 5-13: Estadísticas para el porcentaje de reducción de caudal de tormentas

Escenario	Porcentaje de reducción (%)				
	μ_{G1}	σ_{G1}	μ_{G2}	σ_{G2}	valor-P
Control (G1) - Helechos (G2)	0.00	0.00	0.76	0.14	2.00E-16
Control (G1) - Sedums (G2)	0.00	0.00	0.67	0.23	2.00E-16
Helechos (G1) - Sedums (G2)	0.76	0.14	0.67	0.23	0.07
Pendiente 5% (G1) - Pendiente 2% (G2)	0.69	0.19	0.74	0.18	0.30
Helechos 5% (G1) - Helechos 2% (G2)	0.75	0.17	0.76	0.14	0.72
Sedums 5% (G1) - Sedums 2% (G2)	0.63	0.25	0.71	0.24	0.19

Para los eventos evaluados estadísticamente las cubiertas verdes tiene una capacidad de atenuación de un 70% aproximadamente (Figura 5-1), valor cercano a los reportados en la Tabla 5-8, de los valores observados de los eventos de tormenta.

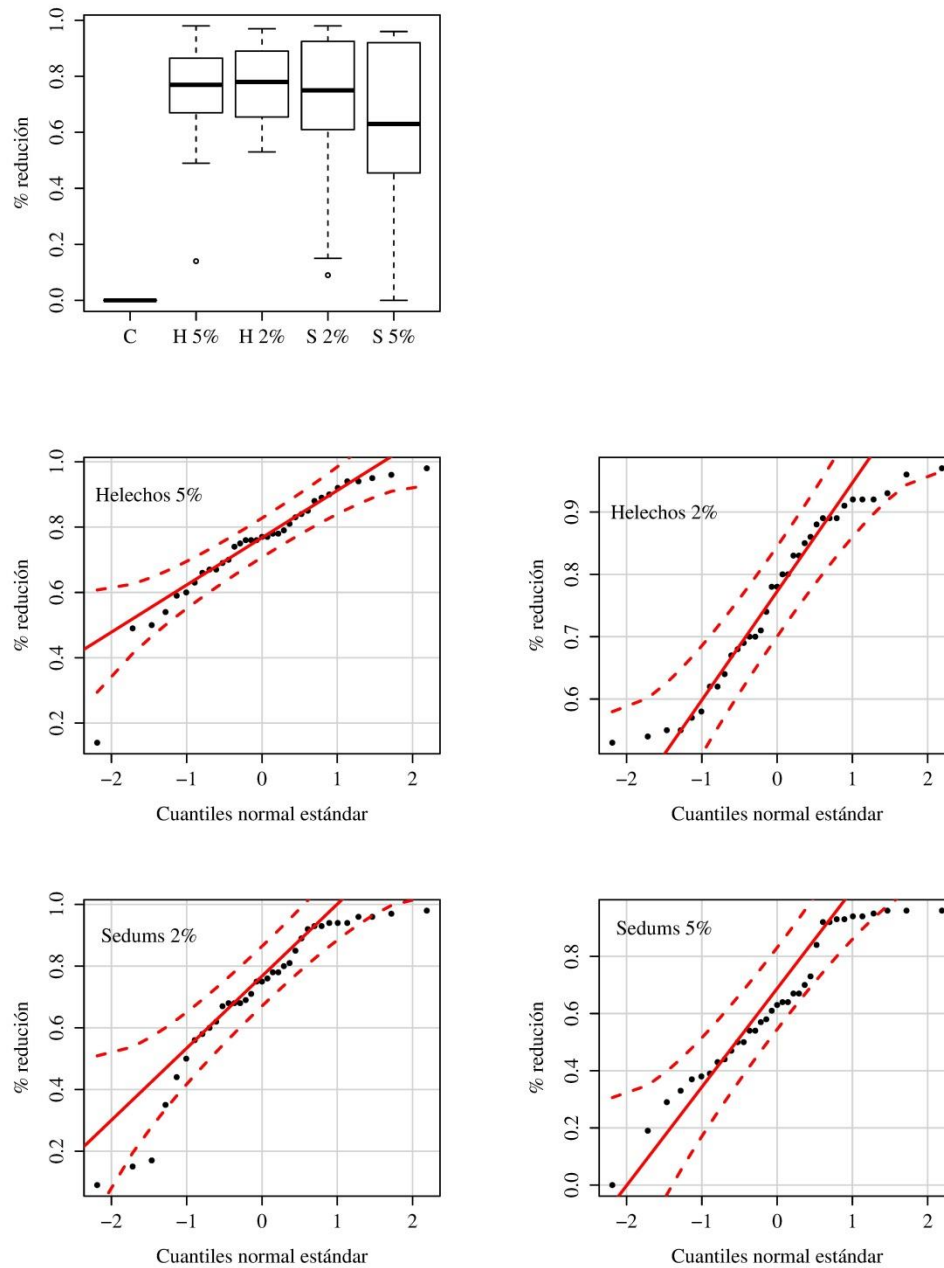


Figura 5-11: Diagramas de cajas del porcentaje de reducción de las cubiertas

5.2 Modelación numérica

En esta sección se presentan los resultados del proceso de modelación del flujo en la zona parcialmente saturada en los sustratos de las cubiertas verdes. Este proceso de modelación corresponde a un primer acercamiento para la obtención de un modelo en los sustratos instalados, debido a que la modelación, calibración y validación del flujo en los sustratos obedece a un ejercicio extenso que puede ser un área de interés para otra investigación. Por lo anterior, el proceso de calibración y validación se realizó únicamente para la cubierta verde de sedums al 2%, utilizando 7 eventos de tormenta en el proceso de calibración y 3 eventos para la validación (Tabla 5-14).

Tabla 5-14: Eventos de tormenta seleccionados para calibración y validación

Fecha de la tormenta	Precipitación Total (mm)	Duración del evento (min)	Proceso
24/03/2012	4.1	140	Validación
26/03/2012	1.9	100	Calibración
11/04/2012	1.2	70	Calibración
14/04/2012	1.9	80	Calibración
04/02/2013	3.3	120	Calibración
17/03/2013	4.6	160	Validación
03/04/2013	1.7	94	Calibración
11/04/2013	1.4	60	Calibración
21/04/2013	2.6	230	Calibración
02/05/2013	4.5	100	Validación

La Figura 5-12 presenta el evento de tormenta del 17 de marzo de 2013, el cual se utilizó para la validación.

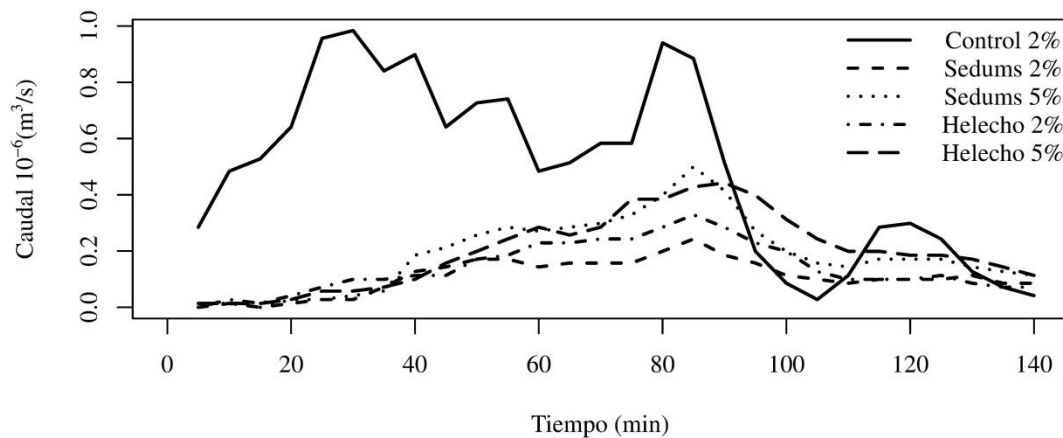


Figura 5-12: Tormenta para validación 2013-03-17

En la calibración se descartaron las primeras 1000 muestras (iteraciones) para evitar que el calentamiento del modelo afectara los resultados. Los conjuntos de parámetros (θ_r , θ_s , α , n , K_s , y σ) se definieron con unos intervalos de valores amplios (Yang y Wang, 2014) para poder determinar una franja de valores óptimos que representen adecuadamente los valores de flujo observados en la salida de las cubiertas verdes (Tabla 5-15).

Tabla 5-15. Intervalo de parámetros a calibrar

Parámetro	Mínimo	Máximo
θ_r	0.1	0.3
θ_s	0.35	0.6
α	5	20
n	1.5	2.8
K	5	40

Implementando el CAB, se determinaron las densidades de probabilidad posteriori para los parámetros θ_r , θ_s , α , n , K_s , y σ . En las Figura 5-13 a Figura 5-16 se presentan las densidades de probabilidad de los parámetros característicos de los sustratos de las cubiertas verdes instaladas. En general, las distribuciones para K y α se centran alrededor de su valor más probable; sin embargo, las distribuciones son más dispersas para los demás parámetros.

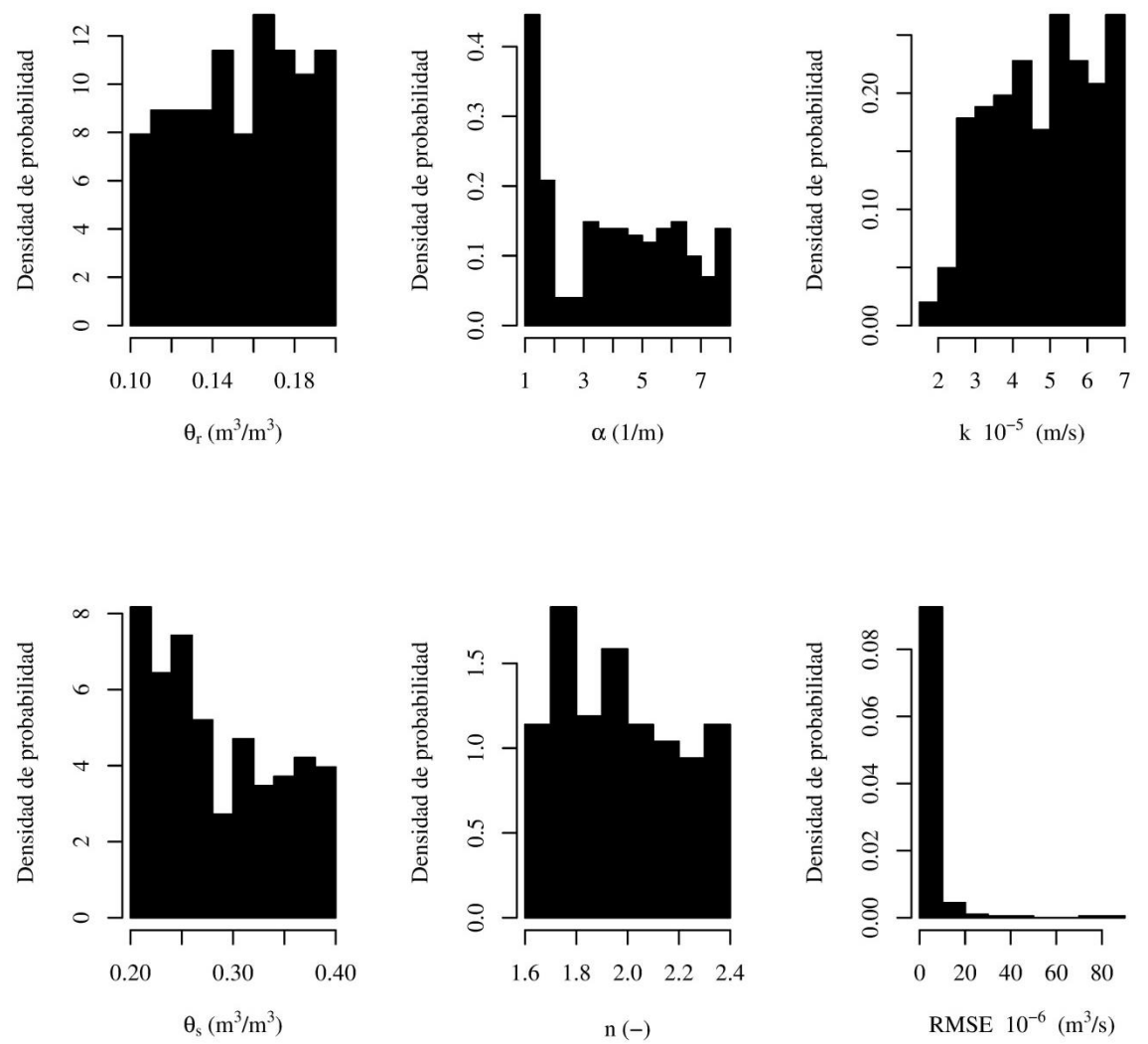


Figura 5-13: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de helechos y pendiente del 5%.

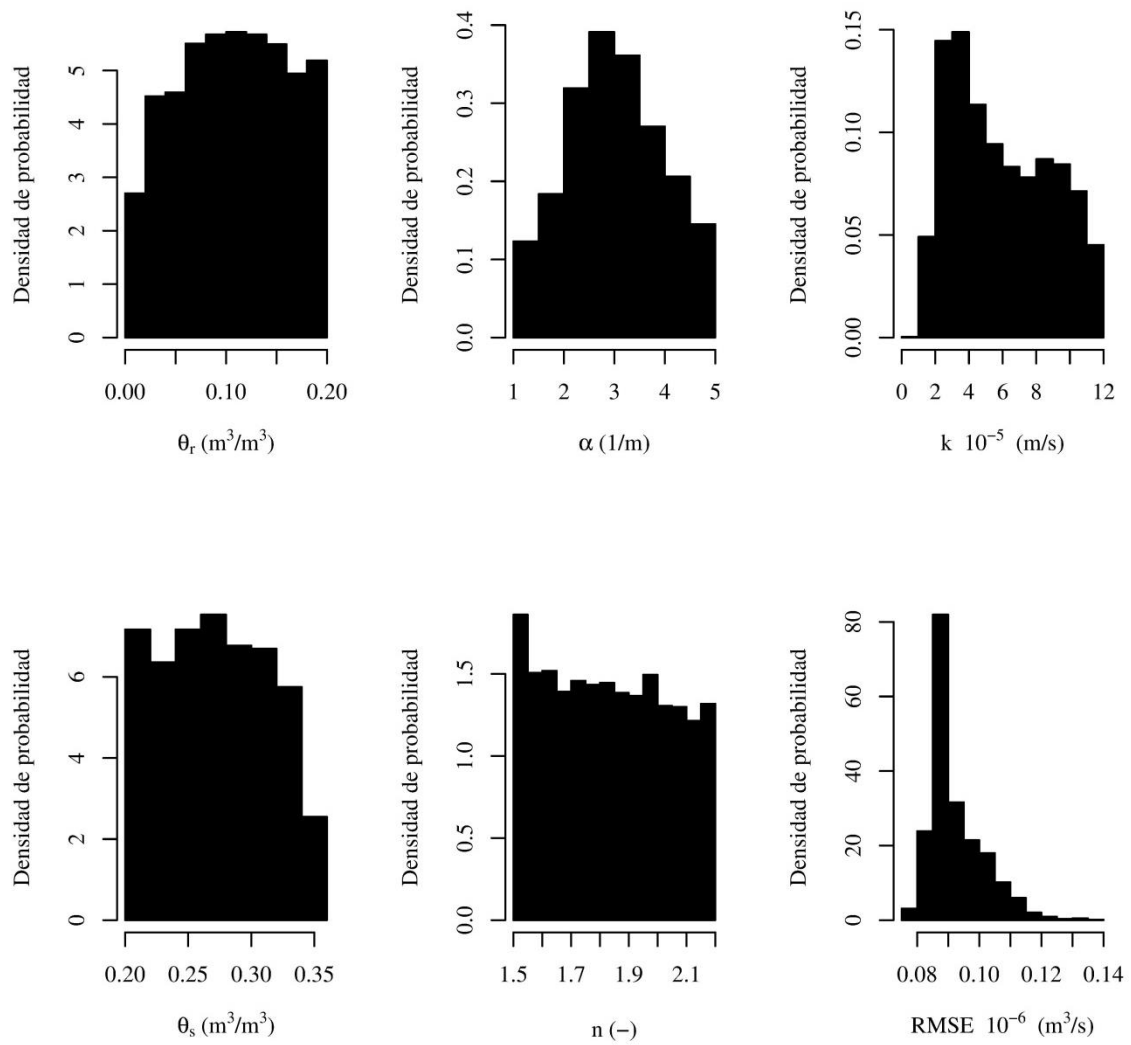


Figura 5-14: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de helechos y pendiente del 2%.

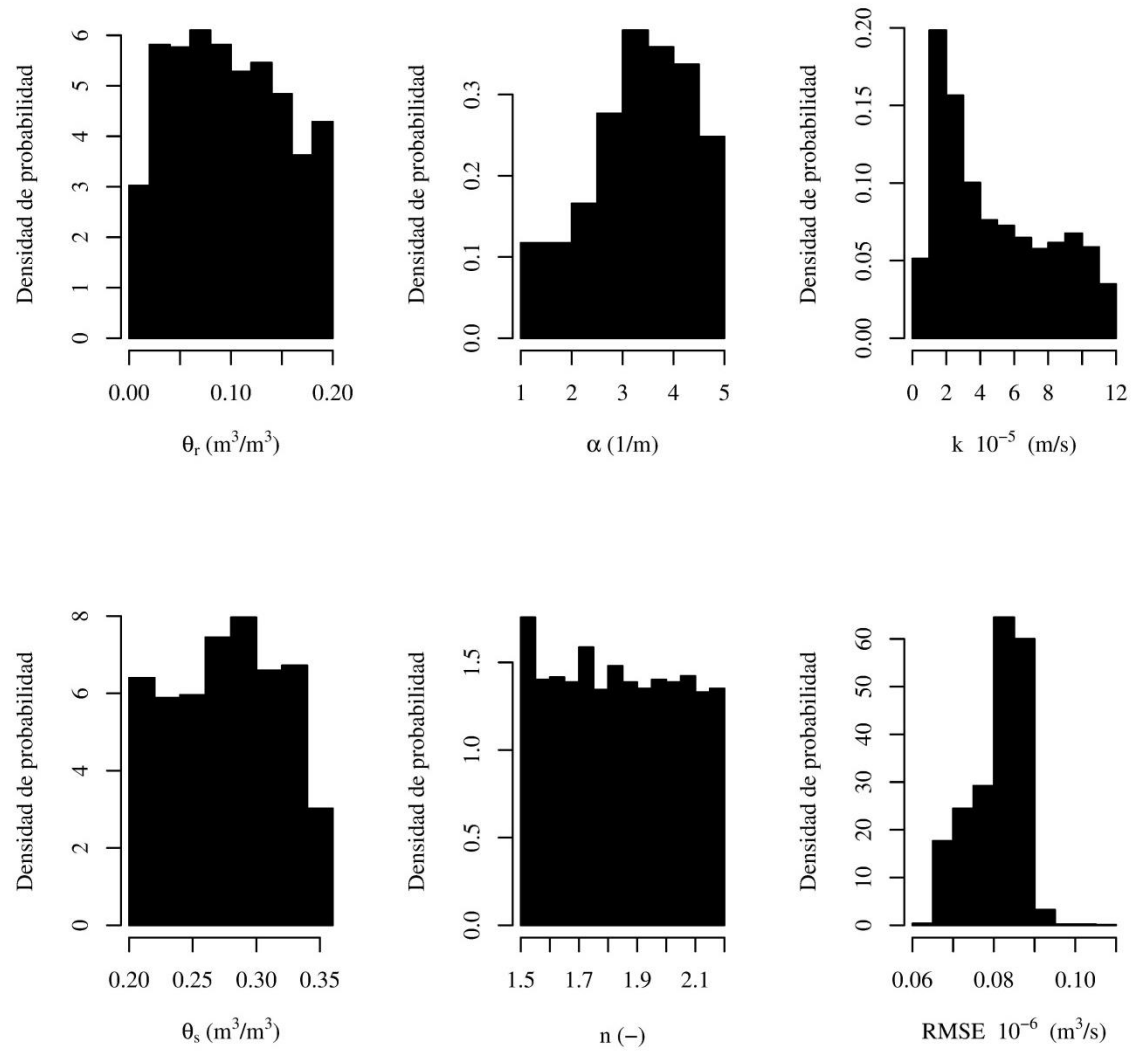


Figura 5-15: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de sedums y pendiente del 2%.

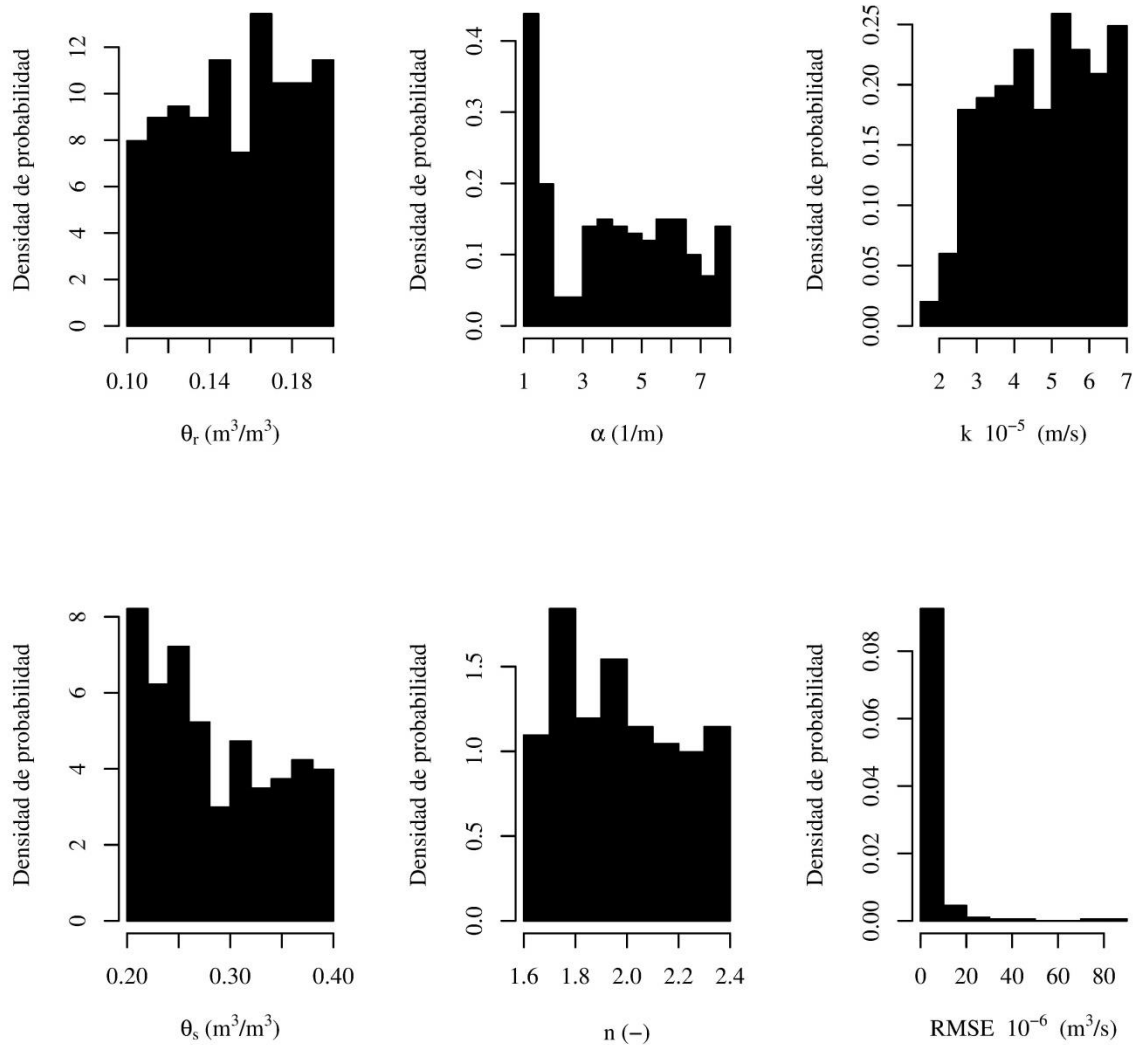


Figura 5-16: Densidades de probabilidad del sustrato con cobertura de sedums y pendiente del 5%.

Una vez estimadas las densidades de probabilidad posteriori, se realizó la validación implementando simulaciones de Monte Carlo para representar las hidrógrafas de salida de la cubierta verde de sedum al 2%. Las tormentas evaluadas para la validación del modelo se representan en la Figura 5-17 a Figura 5-19. En estas figuras, la línea punteada representa la hidrógrafa de salida de la cubierta de control, la línea continua representa la hidrógrafa de la cubierta sedums al 2%, el color gris claro corresponde al intervalo 10%-90% de incertidumbre en la predicción, y el color gris oscuro corresponde al intervalo 30%-70% de incertidumbre en la predicción.

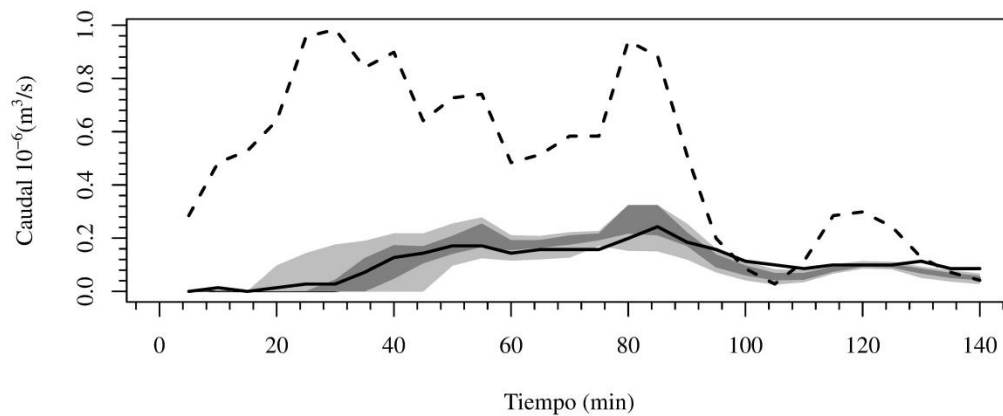


Figura 5-17: Simulación evento de tormenta 2012-03-24

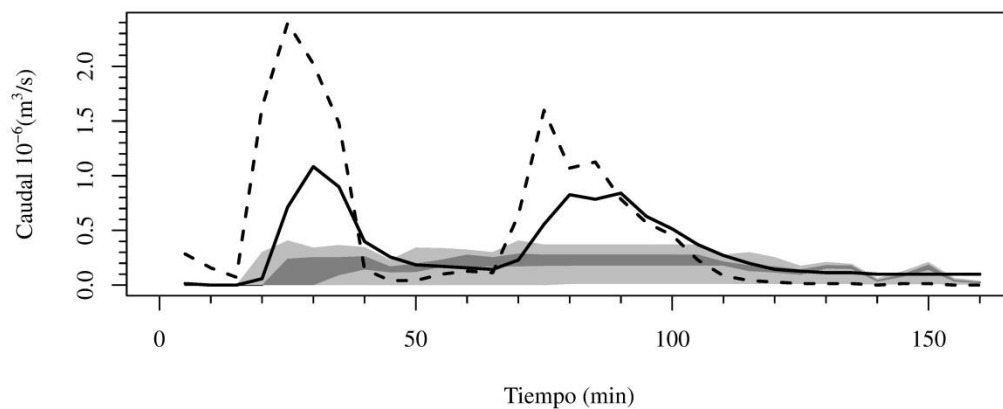


Figura 5-18: Simulación evento de tormenta 2013-03-18

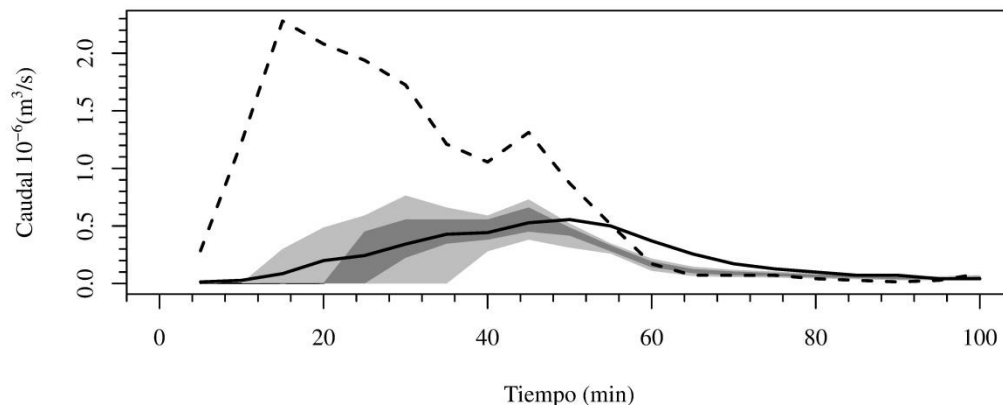


Figura 5-19: Simulación evento de tormenta 2013-05-02

En la Tabla 5-16 se presenta el Índice de Retención de Humedad (IRH) calculado con los valores observados y simulados.

Tabla 5-16: Índices de retención de humedad

Cubierta verde	IRH Observado	IRH Simulado
Helechos 5%	0.64	0.68
Helechos 2%	0.69	0.77
Sedums 2%	0.78	0.78
Sedums 5%	0.33	0.70

Como se observa en la tabla anterior, el parámetro físico adoptado para simular los valores observados durante el desarrollo de la investigación, puede ser representado por el modelo sin embargo, al no obtener buenos resultados en la simulación de los caudales observados de los eventos de tormenta, se debe buscar otro parámetro o conjunto de parámetros que ajusten los resultados de una mejor manera de los valores observados con los modelados.

5.3 Calidad del agua

Es recomendable evaluar la calidad del agua en la descarga de las cubiertas verdes para definir que no exista una contaminación de los cuerpos receptores de los excesos de escorrentía que atraviesan los sustratos de las CV con materiales reciclados de la construcción. Según Stovin (2009), las cubiertas verdes pueden mejorar la calidad del agua en comparación con las cubiertas convencionales de las edificaciones.

El análisis de calidad del agua se realizó para las siguientes tormentas: 19-11-2012, 14-12-2012 y 19-03-2013. Se analizaron únicamente estas tormentas debido a que el costo para cada análisis de laboratorio asciende a 7'000.000 de pesos; cifra que estaba por fuera del presupuesto del proyecto. Estas tormentas se seleccionaron debido a que generaron una descarga de más de 4 L a la salida de las cubiertas verdes.

En la Tabla 5-17 se presentan los resultados de los análisis de laboratorio para determinar la calidad del agua de la primera tormenta, a la cual no se realizó el análisis del control debido a que se deseaba determinar cuáles eran los determinantes de calidad del agua predominantes en las cubiertas verdes. El biosólido presenta contenidos de NH_4 , Ca, COT, Coliformes, P, Fe, Mg, Mn, NTK, Na y SST mayores a los observados en las cubiertas verdes con sustratos de materiales reciclados de la construcción.

Tabla 5-17: Resultados de calidad del agua tormenta 19-11-2012

Parámetro	Biosólido 2%	Sedums 2%	Helecho 2%	Granizos 2%
Acidez	84		6	
Alcalinidad Total	85	15	23	
Aluminio Total	0.443	0.423	0.325	0.304
Amonio	352.2	0.2	0.4	0.1
Cadmio Total	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Calcio	281.13	12.83	9.77	18.8
Carbono Orgánico Total	287.9	23.3	30.3	16.3
Cloruros	49	2	4	
Coliformes Fecales	1203	24	56	10
Coliformes Totales	1732900	1299	970	2419
Color Aparente	361	29	153	51
DBO-5 Total	51	3	5	9
DQO Total	910	73	97	65
Dureza Total	1173	47	41	56
Fósforo Total	1.01	0.14	0.78	0.06
Hierro Total	0.616	0.238	0.281	0.189
Magnesio Total	51.019	1.792	3.08	1.51
Manganeso Total	1.688	0.057	0.044	0.046
Mercurio Total	0.00921	0.00083	0.00091	0.00101
Níquel Total	0.094	N.D.	N.D.	N.D.
Nitritos	0.703	0.13	0.051	
Nitrógeno Kjeldahl Tot. (NTK)	407	0.5	0.07	0.4
pH	6.4	7	7	6.9
Plomo Total	N.D.	0.013	N.D.	N.D.
Sodio Total	32.56	1.68	1.56	3.34
Sólidos Disueltos Totales	4330	111	149	190
Sólidos Suspendidos Totales	59	36	3	13
Sulfatos	1785	3	1	51
Turbiedad	39.8	8.23	8.5	15.8

N.D.= No disponible

Para la tormenta del 14-12-2012 se realizó el análisis para todas las cubiertas y todos los parámetros definidos en la sección 3.4.3. Los resultados indican que existe una descarga de contaminantes y nutrientes de las cubiertas verdes, siendo siempre superior la del sustrato de Biosólido (Tabla 5-18).

Tabla 5-18: Resultados de calidad del agua tormenta14-12-2012

Parámetro	Control 2%	Biosólido 2%	Sedums 2%	Helecho 2%	Granizos 2%
Acidez	6	56	5	6	9
Alcalinidad Total	9	36	12	16	12
Aluminio Total	1.37	0.65	0.58	1.48	0.95
Amonio	1	270.8	1	0.9	0.6
Cadmio Total	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004
Calcio	16.617	394.564	20.006	20.955	46.351
Carbono Orgánico Total	4.2	202	26.5	18.7	14.9
Cloruros	N.D.	23	N.D.	N.D.	N.D.
Coliformes Fecales	5	23	12	25	10
Coliformes Totales	2419	410600	1203	261	2143
Color Aparente	14	184	130	76	52
DBO-5 Total	7	39	3	7	7
DQO Total	99	644	75	89	52
Dureza Total	13	1021	50	47	74
Fósforo Total	2.2	3.96	1.04	1.02	7.87
Hierro Total	1.59	0.844	0.335	0.983	0.558
Magnesio Total	0.9777	38.6836	2.7406	1.8449	3.3807
Manganeso Total	0.4914	1.1101	0.0928	0.2352	0.1278
Mercurio Total	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Níquel Total	N.D.	0.053	N.D.	N.D.	N.D.
Nitratos	0.61	12.51	0.3	0.46	1.14
Nitritos	0.069	0.256	0.062	0.138	0.104
Nitrógeno Kjeldahl Total (NTK)	3.1	285	2.3	3.5	3.5
Oxígeno Disuelto	6	4	6.2	6.3	6.3
pH	7.1	7	7.2	7.1	7.3
Plomo Total	0.016	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sodio Total	0.345	30.693	6.713	3.347	8.223
Sólidos Disueltos Totales	63	2909	171	41	200
Sólidos Suspendidos Totales	258	142	17	124	110
Sulfatos	11	1628	11	11	58
Turbiedad	95.4	65.4	16.5	61.6	65

N.D.= No disponible

La Tabla 5-19 presenta los resultados de laboratorio de la tormenta del 19-03-2013; a este evento se realizó únicamente el análisis de pH y SST. Se evidencia que la concentración de SST en la cubierta de control fue inferior a la concentración reportada a la salida de las cubiertas verdes. En particular, la mayor concentración de SST se obtuvo para la cubierta verde con sustrato de biosólidos.

Tabla 5-19: Resultados de calidad del agua tormenta 19-03-2013

Parámetro	Control 2%	Biosólido 2%	Sedums 2%	Helecho 2%	Granizos 2%
pH	5.9	5.9	6.8	6.9	6.9
Sólidos Suspendidos Totales	41	140	47	63	68

Para poder determinar qué tipo de uso se le puede dar al agua en la descarga de las cubiertas verdes, se realizó una comparación de los artículos 40, 42 y 43 del decreto 1594 de 1984, con relación a los usos del agua y residuos líquidos. Los artículos corresponden al uso recreativo con contacto primario y uso recreativo con contacto secundario. Para el uso primario se tiene un valor máximo de coliformes totales de 1000 NMP/100 ml y de 5000 NMP/100 ml para secundario. Según estos umbrales, las cubiertas con sustrato de biosólido no pueden ser usadas por sus altos contenidos de contaminantes. Se aprecia que con relación al control, la descarga de coliformes fecales y totales aumentó significativamente (Tabla 5-18).

A continuación se presenta la Tabla 5-20 que contiene los siguientes datos: concentraciones de SST de la presente investigación y de la investigación realizada por el Ing. Hugo Estupiñán.

Tabla 5-20: Tabla resumen de concentraciones de SST (mg/L)

Evento de tormenta	Control 2%	Biosólido 2%	Sedums 2%	Helecho 2%	Granizos 2%	Edif. Matematicas	Edif. IEI	Edif. LEH
19/11/2012	N.D.	59	36	3	13			
14/12/2012	258	142	17	124	110			
19/03/2013	41	140	47	63	68			
25/02/2009*						1556	608	3317
17/03/2009*						2012	2432	5008
30/04/2009*						256	611	1388

N.D.= No disponible, * resultados tesis Hugo Estupiñan (2009)

Estos resultados muestran una tendencia con relación al sustrato de biosólido, el cual genera una descarga importante de contaminantes en comparación con el control y las cubiertas verdes con sustratos de materiales de construcción, motivo por el cual es indispensable continuar investigando la calidad del agua de las cubiertas verdes instaladas y el uso del biosólido como sustrato, con un mayor número de muestras de laboratorio.

Es importante resaltar que aunque las concentraciones reportadas de las cubiertas verdes con materiales de la construcción son inferiores al biosólido, estos valores son superiores a los obtenidos en el control. Por esta razón, es recomendable continuar investigando sobre la calidad del agua de estas cubiertas; las descargas de nutrientes pueden llegar ser fuentes de contaminación de los cuerpos receptores y generar eutrofización.

6. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones encontradas durante las diferentes etapas para la evaluación de cubierta verde como un sistema de drenaje urbano sostenible.

6.1 Conclusiones

La implementación de cubiertas verdes como un sistema de drenaje urbano sostenible puede apoyar el sistema de drenaje de la ciudad de Bogotá, debido a que las cubiertas de las edificaciones en ciudades desarrolladas pueden aportar entre el 30% y el 50% de la escorrentía urbana (Carter y Rasmussen, 2007), mientras que las cubiertas verdes pueden retener y retardar los excesos de volúmenes de escorrentía hasta un valor de 82.9% (VanWoert et al., 2005). El porcentaje de reducción promedio para esta investigación fue de 70% para un total de 35 tormentas monitoreadas, entre el 3 de marzo de 2012 y el 5 de mayo de 2013.

Carter y Rasmussen, (2007) determinaron que las cubiertas verdes pueden retener los excesos de caudales provenientes de las cubiertas de edificaciones entre 39% a un 100%, dependiendo de la intensidad y duración de la tormenta. Para las cubiertas de helechos se reportaron valores extremos de reducción de caudal entre el 14% como mínimo y 98% como máximo; en el caso de las cubiertas de sedums el valor máximo de reducción correspondió a 98% y un valor mínimo de 0%.

Getter et al., (2007) encontraron que la pendiente de la cubierta es un parámetro que afecta la capacidad de retención de las cubiertas verdes; inclinaciones mayores al 25% retienen hasta el 75.3% y con inclinaciones de 2% hasta un 85.2%. De igual forma, VanWoert et al., (2005) encontraron que cubiertas verdes con pendientes del 2% retuvieron en promedio 70.7% y pendientes de 6.5%, retuvieron en promedio 65.9%. En esta tesis se reportó, en

promedio, un 75% de reducción de caudal máximo en las cubiertas intensivas (helechos) y un 64% en las extensivas (sedums), para una inclinación del 2%. Para las cubiertas de mayor inclinación (5%), se registró un 72% (helechos) y un 61% (sedums) de reducción de caudal máximo. Sin embargo, para esta investigación se encontró que estadísticamente la capacidad de atenuación y retardo no depende del tipo de pendiente o vegetación (valores $-p > 0.05$), esto puede suceder debido a que las pendientes comparadas son similares, se recomienda realizar otra investigación ampliando el intervalo de pendientes.

Speak et al. (2013) encontraron que no existió dependencia estadística entre los valores de la escorrentía de la cubierta verde extensiva con los valores de la cubierta de la edificación, teniendo como resultado una reducción de caudal del 65.7%. En esta tesis se determinó que existe una diferencia estadística entre el control y las cubiertas verdes (valor- $p < 0.05$), teniendo como resultado una capacidad de atenuación promedio del 70% y un retardo promedio de 16 minutos de los excesos de escorrentía.

Para la modelación numérica se definieron unos intervalos (Tabla 5-15) de valores amplios (Yang y Wang, 2014) para el conjunto de parámetros (θ_r , θ_s , α , n y K_s). Con la implementación de CAB y las densidades de probabilidad del conjunto de parámetros, se estimó la hidrógrafa de salida, encontrando, en promedio, que el modelo se ajustaba a los valores observados, con un intervalo de confianza del 95%. Las densidades de probabilidad de θ_r , θ_s , α , n y K_s son un insumo importante para futuras investigaciones de este tipo de cubiertas verdes, así como los intervalos de variación establecidos.

El uso de materiales reciclados de la construcción en cubiertas verdes extensivas permite el crecimiento de la vegetación, presentan beneficios para el drenaje y no afectan considerablemente la calidad del agua (Mickovski et al., 2013). Existen otros materiales que pueden ser reutilizados como sustratos y sirven como fuente de nutrientes para la vegetación. Vila et al. (2012) proponen implementar residuos de caucho en la fabricación de los sustratos. Este tipo de sustratos pueden mejorar la calidad del agua de escorrentía urbana por medio de su estructura sustrato-capas vegetal (Czemiel Berndtsson, 2010, Stovin, 2009), disminuyendo la polución y efectos de primer lavado (Bianchini y Hewage, 2012).

Se recomienda en futuras investigaciones continuar evaluando los parámetros de calidad del agua a la salida de las cubiertas verdes, debido a que Teemusk y Mander (2007) indican que está se puede ver afectada porque existe una descarga de nutrientes de las cubiertas verdes. Nutrientes que pueden afectar las fuentes receptoras (acuíferos, embalses, humedales), causando eutrofización y generando con esto el crecimiento de algas, afectando posteriormente aún más la calidad del agua (Vijayaraghavan et al., 2012). Las tormentas en las que se evaluó la calidad del agua (19-11-2012, 14-12-2012 y 19-03-2013) a la descarga de las cubiertas verdes, indican que puede existe un aporte de nutrientes –todas las cubiertas verdes-, de metales livianos y pesados –biosólido- afectando la calidad del agua en la salida de las cubiertas verdes.

Vijayaraghavan et al. (2012) recomiendan que se debe investigar más los resultados de calidad del agua para diferentes tipos de cubiertas verdes, debido a que sus resultados no fueron satisfactorios al encontrar que las cubiertas verdes estabilizan el pH del agua de escorrentía, también aportan metales livianos como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y metales pesados como hierro (Fe), cobre (Cu) y aluminio (Al). Con el número de muestras realizadas para el análisis de calidad del agua, no es posible concluir con rigor estadístico si existe aporte de las cubiertas verdes; por lo tanto, se recomienda realizar futuras investigaciones con un mayor análisis de muestras de calidad de agua para diferentes eventos de tormenta. Se debe tener presente que las tormentas que se evalúan deben tener una descarga superior a 4 litros para poder realizar los análisis en laboratorio ejecutados en esta investigación.

Es importante resaltar que por el tipo de vegetación, existieron varias tormentas que no se pudieron monitorear debido a que en algunas oportunidades insectos como arañas, abejas y cucarrones bloquearon la entrada a los pluviómetros (Figura 6-1).



Figura 6-1. Abejas en las bocas de los pluviómetros.

6.2 Recomendaciones

En esta sección se presentan las recomendaciones para futuras investigaciones enfocadas a la evaluación de cubiertas verdes.

La edad de la cubierta verde puede afectar la capacidad de atenuación y retardo de los excesos de caudal, debido a la consolidación del sustrato, el crecimiento de la vegetación y su sistema radicular. Se recomienda continuar investigando sobre la capacidad de atenuación y retardo de las cubiertas verdes instaladas para verificar si los resultados presentados varían con el tiempo.

Se recomienda comparar cubiertas con mayores inclinaciones para definir si puede existir diferencia estadística, debido a que Getter et al. (2007) reportó que con inclinaciones del 25% se puede retener hasta un 75%.

Se recomienda realizar futuras investigaciones comparando los resultados obtenidos en esta investigación con otros que se puedan tener en los próximos años debido a que el montaje seguirá instalado en la Playa de Modelos de la Universidad Nacional.

Los parámetros evaluados en la presente investigación, inclinación y tipo de sustrato, no son los únicos que afectan la respuesta hidráulica. Es importante realizar más investigación con relación al tipo de vegetación instalada debido a que esta genera una interceptación inicial, la cual no se evaluó de manera independiente en la presente investigación. También es importante investigar sobre la estructura de las raíces de las vegetaciones instaladas debido a que estas afectan en gran medida el flujo en los sustratos por absorción de la planta.

Durante la recolección de información de las tormentas se encontró que los pluviómetros se taponaban por los sedimentos de los sustratos, debido a que se erosionaban en la parte inferior de la cubierta (conexión entre la lámina de soporte y el canal rectangular). Por tal razón, se instaló en dicho punto una sección de teja plástica de 10 cm de altura por 1.20 m de largo para cubrir el frente de la cubierta verde que se estaba erosionando, como se presenta en la Figura 6-2.



Figura 6-2. Estructura de protección de erosión del sustrato en el frente de la cubierta.

Como se mencionó durante el desarrollo del presente documento, es indispensable definir bien los componentes de sustrato para evitar que otro tipo de vegetación se establezca en las cubiertas verdes seleccionadas. Durante el ejercicio de análisis, en varias oportunidades se removió vegetación invasiva y diferente a la instalada (Figura 6-3).



Figura 6-3. Remoción de vegetación intrusiva.

Durante el periodo de estudio, las cintas se murieron debido al periodo seco presentado a finales del año 2012. Se observó que en el sustrato de las cintas nacieron granizos y sedums, como se muestra en la Figura 6-4.



Figura 6-4. Cubierta verde con Cintas muertas, Granizos y Sedums transportados.

Los valores reportados en la presente investigación corresponden a cubiertas verdes con dimensiones de 1.00 m x 1.00 m. Se recomienda evaluar este tipo de sustratos en áreas mayores.

Se recomienda validar el modelo numérico con otro índice, que represente características físicas adicionales a la capacidad de retención de los sustratos.


Bibliografía

- Allen, M. B., & Murphy, C. L. (1986). October 1986 A Finite-Element Collocation Method for Variably Saturated Flow in Two Space Dimensions. *Water Resources Research*, 22, 1537–1542.
- Bianchini, F., & Hewage, K. (2012). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*, 48, 57–65. doi:10.1016/j.buildenv.2011.08.019
- Borbón, W. L., & Ibañez, A. (2009). Techos vivos extensivos: Una practica sostenible para descubrir e investigar en Colombia. *No 16 Nov 2009*, (ISSN 1657-6101), 24–38.
- Carter, T., & Keeler, A. (2008). Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 350–63. doi:10.1016/j.jenvman.2007.01.024
- Carter, T. L., & Rasmussen, T. C. (2007). OCTOBER HYDROLOGIC BEHAVIOR OF VEGETATED ROOFS 1, 30602, 1261–1274.
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B. M., & Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42(10), 1582–1591. doi:10.1016/j.enbuild.2010.05.004
- Colombia, C. de. LEY 373 DE 1997 (1997).
- Czemiel Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351–360. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.12.014
- Escombros Cero, & Públicos, U. A. E. de S. (2012). Escombros Cero. In *Primer foro internacional para la gestión y control de residuos de la construcción y demolición*.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., & Andresen, J. a. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 31(4), 225–231. doi:10.1016/j.ecoleng.2007.06.004
- Group, T. R.-G. W. (2002). *Guidelines for the Planning , Execution and Upkeep of Green-roof sites*.

- Haverkamp, R., Vauclin, M., Touma, J., Wierenga, P. J., & Vachaud, G. (1977). A Comparison of Numerical Simulation Models For One-Dimensional Infiltration 1. *Soil Science Society of America*, 41, 285–294.
- Ibañez, A. (2009). *TECHOS VIVOS* :
- IDEAM, Instituto de hidrología, M. y estudios ambientales. (2003). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas* (p. 83).
- Li, J., Wai, O. W. H., Li, Y. S., Zhan, J., Ho, Y. A., Li, J., & Lam, E. (2010). Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Building and Environment*, 45(12), 2644–2651. doi:10.1016/j.buildenv.2010.05.025
- Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217–226. doi:10.1016/j.landurbplan.2005.02.010
- Mickovski, S. B., Buss, K., McKenzie, B. M., & Sökmener, B. (2013). Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 61, 706–714. doi:10.1016/j.ecoleng.2013.02.015
- Molina León, M. P., Gutierrez, L., & Salazar, J. (2011). *Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible*. Bogotá.
- Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated-UNLP(Argentina).pdf. *Water Resources Research*, 12(3), 513–522.
- Niachou, a, Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, a, & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719–729. doi:10.1016/S0378-7788(01)00062-7
- Razzaghmanesh, M., Beecham, S., & Kazemi, F. (2014). Impact of green roofs on stormwater quality in a South Australian urban environment. *The Science of the Total Environment*, 470-471, 651–9. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.10.047
- Simunek J., Huang K., y V. G. M. T. (1994). The SWMS_3D code for simulating water flow and solute transport in the three dimensional variably saturated media. U.S. Salinity Laboratory, Agricultural Research Service, U.S Department of Agricultural, Riverside – California.
- Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2013). Science of the Total Environment Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *Science of the Total Environment*, The, 461-462, 28–38. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.04.085
- Stovin, V. (2009). The potential of green roofs to manage Urban Stormwater. *Water and Environment Journal*, 24, 192–199. doi:10.1111/j.1747-6593.2009.00174.x

- Teemusk, A., & Mander, Ü. (2007). Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. *Ecological Engineering*, 30(3), 271–277. doi:10.1016/j.ecoleng.2007.01.009
- Van Genuchten, M. T. (1980). A closed form equation for prediction the hydraulic conductivity of unsaturated soils.pdf. *Soil Science Society of America*, 44, 892–898.
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. a, Rugh, C. L., Fernandez, R. T., & Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*, 34(3), 1036–44. doi:10.2134/jeq2004.0364
- Vijayaraghavan, K., Joshi, U. M., & Balasubramanian, R. (2012). A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water Research*, 46(4), 1337–45. doi:10.1016/j.watres.2011.12.050
- Vila, a, Pérez, G., Solé, C., Fernández, a I., & Cabeza, L. F. (2012). Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs. *Building and Environment*, 48(null), 101–106. doi:10.1016/j.buildenv.2011.08.010
- Vrugt, J. a., & Sadegh, M. (2013). Toward diagnostic model calibration and evaluation: Approximate Bayesian computation. *Water Resources Research*, 49(7), 4335–4345. doi:10.1002/wrcr.20354
- Wallace, C. B., Burton, M. G., Hefner, S. G., & DeWitt, T. a. (2013). Effect of preceding rainfall on sediment, nutrients, and bacteria in runoff from biosolids and mineral fertilizer applied to a hayfield in a mountainous region. *Agricultural Water Management*, 130, 113–118. doi:10.1016/j.agwat.2013.08.006
- Yang, J., & Wang, Z.-H. (2014). Physical parameterization and sensitivity of urban hydrological models: Application to green roof systems. *Building and Environment*, 75, 250–263. doi:10.1016/j.buildenv.2014.02.006

Anexo A. Clasificación de los sustratos

	SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.	ENSAYOS PARA CLASIFICACION DE UN SUELO	Formato: SLSP-EL-001-TEC
OBRA: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS			
SONDEO/APIQUE: SUSTRATO		MUESTRA: HELECHOS	
LOCALIZACIÓN:		PROFUNDIDAD m:	
DESCRIPCIÓN: ARENA LIMOSA CON TRAZAS DE GRAVAS			
CLIENTE: ING. EDUARDO LEON		FECHA: 03-sep-13 ORDEN DE ENSAYO No: 0219-268	

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LIQUIDO

NORMA INV E-125

Determinación No	1	2	3	4
Número de Golpes				
Recipiente No				
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)				
Masa recipiente + Suelo Seco (g)				
Masa recipiente (g)				
Masa del Agua (g)				
Masa Suelo Seco (g)				
Contenido de Agua %				

LÍMITE PLÁSTICO

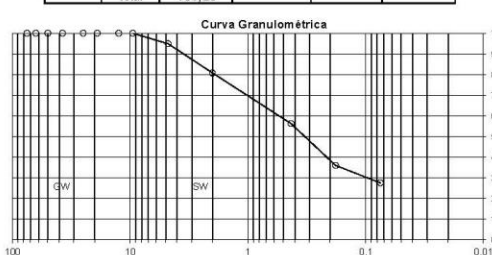
NORMA INV E-126 **HW** NTC 1495 E-122

Recipiente No		
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)		
Masa recipiente + Suelo Seco (g)		
Masa recipiente (g)		
Masa del Agua (g)		
Masa Suelo Seco (g)		
Contenido de Agua %		

GRADACIÓN

Masa muestra después de lavado (g)					136,9
Masa muestra antes de lavado (g)					189,2
Tamiz (mm)	Tamiz (Pig)	Masa Reten.	% Reten.	% Ret Acum.	% Pasa
75,00	3"				
63,00	2 1/2"				
50,00	2"				
37,50	1 1/2"				
25,00	1"				
19,00	3/4"				
12,50	1/2"				
9,50	3/8"				
8,00	1/4"				
4,75	4	9,60	5,1%	5,1%	94,9%
2,00	10	26,80	14,2%	19,2%	80,8%
0,85	20				
0,60	30				
0,43	40	46,30	24,5%	43,7%	56,3%
0,25	60				
0,18	80	38,30	20,2%	64,0%	36,0%
0,15	100				
0,11	140				
0,08	200	15,90	8,4%	72,4%	27,6%
	Pasa 200	52,30	27,6%	100,0%	
	Lavado	52,30	27,6%		
	total	189,20			

Curva Granulométrica




RESULTADOS

Limite Líquido _____ %	Cu = _____	Indice de Consistencia _____
Limite Plástico _____ %	Cc = _____	Indice de Fluidéz _____
Indice Plasticidad _____ %	GRAVAS 5,1%	Contenido Orgánico (Si ó No)
Clasificación U.S.C SM	ARENA 67,3%	A.A.S.H.T.O. A-2-4
Indice de Liquidez _____	FINOS 27,6%	Indice de Grupo 0

OBSERVACIONES

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: J.E.S.P	Digitó: A.B	Revisó:	Aprobó: J.E.S.P
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13

	SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.	ENSAYOS PARA CLASIFICACION DE UN SUELO	Formato: SLSP-EL-001-TEC
OBRA: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS			
SONDEO/APIQUE: SUSTRATO		MUESTRA: CINTAS	
LOCALIZACIÓN:		PROFUNDIDAD m:	
DESCRIPCIÓN: LIMO ARENO GRAVILLOSO			
CLIENTE: ING. EDUARDO LEÓN		FECHA: 03-sep-13 ORDEN DE ENSAYO No: 0219-268	

LIMITES DE CONSISTENCIA
LÍMITE LIQUIDO
NORMA INV. E-125

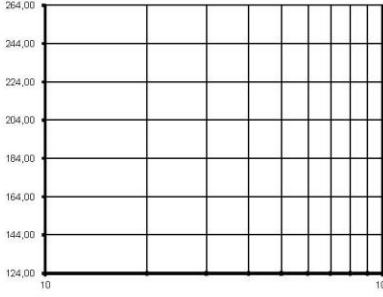
Determinación No.	1	2	3	4
Número de Golpes				
Recipiente No.				
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)				
Masa recipiente + Suelo Seco (g)				
Masa recipiente (g)				
Masa del Agua (g)				
Masa Suelo Seco (g)				
Contenido de Agua %				

LÍMITE PLÁSTICO **HW**
NORMA INV. E-126 NTC 1495 E-122

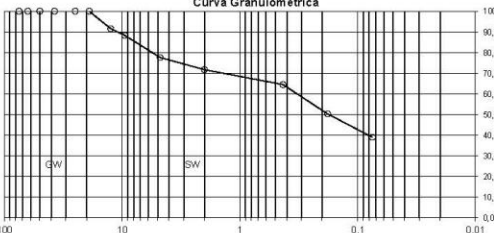
Recipiente No.			
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)			
Masa recipiente + Suelo Seco (g)			
Masa recipiente (g)			
Masa del Agua (g)			
Masa Suelo Seco (g)			
Contenido de Agua %			

GRADACIÓN

Masa muestra después de lavado (g)					87,4
Masa muestra antes de lavado (g)					143,4
Tamiz (mm)	Tamiz (Plg)	Masa Reten.	% Reten.	% Ret. Acum.	% Pasa
75,00	3"				
63,00	2 1/2"				
50,00	2"				
37,50	1 1/2"				
25,00	1"				
19,00	3/4"				
12,50	1/2"	12,10	8,4%	8,4%	91,6%
9,50	3/8"	4,70	3,3%	11,7%	88,3%
8,00	1/4"				
4,75	4	15,30	10,7%	22,4%	77,6%
2,00	10	8,50	5,9%	28,3%	71,7%
0,85	20				
0,60	30				
0,43	40	10,30	7,2%	35,5%	64,5%
0,25	60				
0,18	80	20,30	14,2%	49,7%	50,3%
0,15	100				
0,11	140				
0,08	200	16,20	11,3%	60,9%	39,1%
Pasa 200		56,00	39,1%	100,0%	
Lavado		56,00	39,1%		
total		143,40			



Curva Granulométrica




RESULTADOS

Limite Líquido _____ %	Cu = _____	Índice de Consistencia _____
Limite Plástico _____ %	Cc = _____	Índice de Fluidez _____
Índice Plasticidad _____ %	GRAVAS 22,4%	Contenido Orgánico (Si ó No) _____
Clasificación U.S.C. SM	ARENA 38,6%	A.A.S.H.T.O. A - 4
Índice de Liquidez _____	FINOS 39,1%	Índice de Grupo 1

OBSERVACIONES

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: J.E.S.P.	Digitó: A.B.	Revisó: J.E.S.P.	Aprobó: J.E.S.P.
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13

	SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.	ENSAYOS PARA CLASIFICACION DE UN SUELO	Formato: SLSP-EL-001-TEC
OBRA: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS			
SONDEO/APIQUE: SUSTRATO		MUESTRA: CEDUMS	
LOCALIZACIÓN:		PROFUNDIDAD m:	
DESCRIPCIÓN: ARENA CON ALGO DE LIMO Y GRAVAS			
CLIENTE: ING. EDUARDO LEON		FECHA: 03-sep-13 ORDEN DE ENSAYO No: 0219-268	

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LIQUIDO

NORMA INV. E-125

Determinación No.	1	2	3	4
Número de Golpes				
Recipiente No.				
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)				
Masa recipiente + Suelo Seco (g)				
Masa recipiente (g)				
Masa del Agua (g)				
Masa Suelo Seco (g)				
Contenido de Agua %				

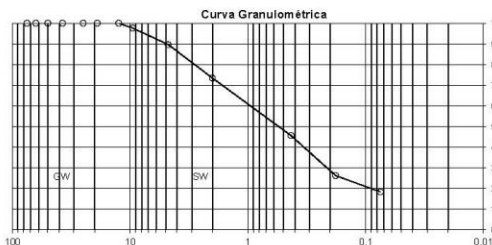
LÍMITE PLÁSTICO

NORMA INV. E-126 **HW** NTC 1495 E-122

Recipiente No.		
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)		
Masa recipiente + Suelo Seco (g)		
Masa recipiente (g)		
Masa del Agua (g)		
Masa Suelo Seco (g)		
Contenido de Agua %		

GRADACIÓN

Masa muestra después de lavado (g)					128,1
Masa muestra antes de lavado (g)					157,1
Tamiz (mm)	Tamiz (Pig)	Masa Reten.	% Reten.	% Ret. Acum.	% Pasa
75,00	3"				
63,00	2 1/2"				
50,00	2"				
37,50	1 1/2"				
25,00	1"				
19,00	3/4"				
12,50	1/2"				
9,50	3/8"	3,70	2,4%	2,4%	97,6%
8,00	1/4"				
4,75	4	12,60	8,0%	10,4%	89,6%
2,00	10	25,40	16,2%	26,5%	73,5%
0,85	20				
0,60	30				
0,43	40	43,70	27,8%	54,4%	45,6%
0,25	60				
0,18	80	30,40	19,4%	73,7%	26,3%
0,15	100				
0,11	140				
0,08	200	12,30	7,8%	81,5%	18,5%
	Pasa 200	29,00	18,5%	100,0%	
	Lavado	29,00	18,5%		
	total	157,10			




RESULTADOS

Límite Líquido _____ %	Cu = _____	Índice de Consistencia _____
Límite Plástico _____ %	Cc = _____	Índice de Fluidéz _____
Índice Plasticidad _____ %	GRAVAS <u>10,4%</u>	Contenido Orgánico (Si ó No)
Clasificación U.S.C <u>SM</u>	ARENA <u>71,2%</u>	A.A.S.H.T.O. <u>A - 1 - b</u>
Índice de Liquidez _____	FINOS <u>18,5%</u>	Índice de Grupo <u>0</u>

OBSERVACIONES

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: J.E.S.P.	Digitó: A.B.	Revisó:	Aprobó: J.E.S.P.
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13

	SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.	ENSAYOS PARA CLASIFICACION DE UN SUELO	Formato: SLSP-EL-001-TEC
OBRA: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS			
SONDEO/APIQUE: SUSTRATO		MUESTRA: GRANIZOS	
LOCALIZACIÓN:		PROFUNDIDAD m:	
DESCRIPCIÓN: ARENA GRAVILLO LIMOSA			
CLIENTE: ING. EDUARDO LEON		FECHA: 03-sep-13 ORDEN DE ENSAYO No: 0219-266	

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

NORMA INV. E-125

Determinación No.	1	2	3	4
Número de Golpes				
Recipiente No.				
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)				
Masa recipiente + Suelo Seco (g)				
Masa recipiente (g)				
Masa del Agua (g)				
Masa Suelo Seco (g)				
Contenido de Agua %				

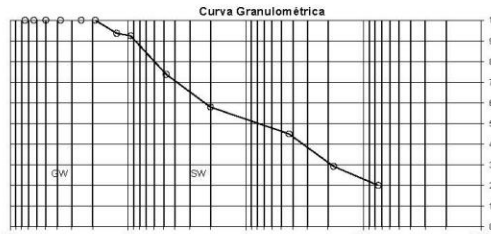
LÍMITE PLÁSTICO

NORMA INV. E-126 **HW** NTC-1495 E-122

Recipiente No.			
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)			
Masa recipiente + Suelo Seco (g)			
Masa recipiente (g)			
Masa del Agua (g)			
Masa Suelo Seco (g)			
Contenido de Agua %			

GRADACIÓN

Masa muestra después de lavado (g)					110,6
Masa muestra antes de lavado (g)					138,5
Tamiz (mm)	Tamiz (Plg)	Masa Reten.	% Reten.	% Ret. Acum.	% Pasa
75,00	3"				
63,00	2 1/2"				
50,00	2"				
37,50	1 1/2"				
25,00	1"				
19,00	3/4"				
12,50	1/2"	8,80	6,4%	6,4%	93,6%
9,50	3/8"	1,60	1,2%	7,5%	92,5%
8,00	1/4"				
4,75	4	25,90	18,7%	26,2%	73,8%
2,00	10	21,90	15,8%	42,0%	58,0%
0,85	20				
0,60	30				
0,43	40	17,90	12,9%	54,9%	45,1%
0,25	60				
0,18	80	21,80	15,7%	70,7%	29,3%
0,15	100				
0,11	140				
0,08	200	12,70	9,2%	79,9%	20,1%
Pasa 200		27,90	20,1%	100,0%	
Lavado		27,90	20,1%		
total		138,50			




RESULTADOS

Limite Líquido _____ %	Cu = _____	Índice de Consistencia _____
Limite Plástico _____ %	Cc = _____	Índice de Fluidez _____
Índice Plasticidad _____ %	GRAVAS 26,2%	Contenido Orgánico (Si ó No) _____
Clasificación U.S.C. SM	ARENA 53,6%	A.A.S.H.T.O. A - 1 - b
Clasificación de Líquidez _____	FINOS 20,1%	Índice de Grupo 0

OBSERVACIONES _____

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: J.E.S.P.	Digitó: A.B.	Revisó:	Aprobó: J.E.S.P.
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13

	SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.	ENSAYOS PARA CLASIFICACION DE UN SUELO	Formato: SLSP-EL-001-TEC
OBRA: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS			
SONDEO/APIQUE: SUSTRATO		MUESTRA: BLOSOLIDOS	
LOCALIZACION:		PROFUNDIDAD m:	
DESCRIPCIÓN: LIMO CON TRAZAS DE ARENA			
CLIENTE: ING. EDUARDO LEON		FECHA: 03-sep-13	ORDEN DE ENSAYO No: 0219-268

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LIQUIDO

NORMA INV. E-125

Determinación No.	1	2	3	4
Número de Golpes				
Recipiente No.				
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)				
Masa recipiente + Suelo Seco (g)				
Masa recipiente (g)				
Masa del Agua (g)				
Masa Suelo Seco (g)				
Contenido de Agua %				

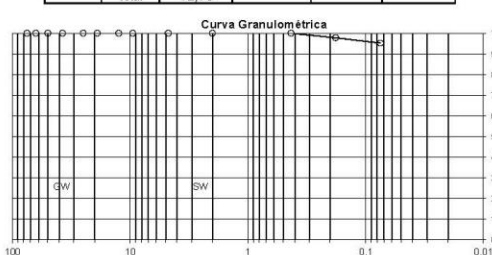
LÍMITE PLÁSTICO

NORMA INV. E-126

Recipiente No.		
Masa recipiente + Suelo Húmedo (g)		
Masa recipiente + Suelo Seco (g)		
Masa recipiente (g)		
Masa del Agua (g)		
Masa Suelo Seco (g)		
Contenido de Agua %		

GRADACIÓN

Masa muestra después de lavado (g)					3,5
Masa muestra antes de lavado (g)					72,7
Tamiz (mm)	Tamiz (Pig)	Masa Reten.	% Reten.	% Ret. Acum.	% Pasa
75,00	3"				
63,00	2 1/2"				
50,00	2"				
37,50	1 1/2"				
25,00	1"				
19,00	3/4"				
12,50	1/2"				
9,50	3/8"				
8,00	1/4"				
4,75	4				
2,00	10				
0,85	20				
0,60	30				
0,43	40				
0,25	60				
0,18	80	1,60	2,2%	2,2%	97,8%
0,15	100				
0,11	140				
0,08	200	1,90	2,6%	4,8%	95,2%
Pasa 200		69,20	95,2%	100,0%	
Lavado		69,20	95,2%		
total		72,70			




RESULTADOS

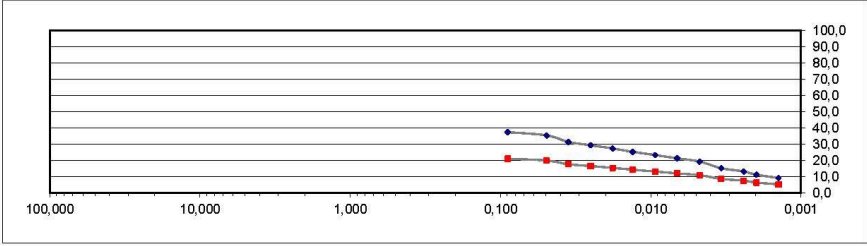
Límite Líquido _____ %	Cu = _____	Índice de Consistencia _____
Límite Plástico _____ %	Cc = _____	Índice de Fluidéz _____
Índice Plasticidad _____ %	GRAVAS <u>0,0%</u>	Contenido Orgánico (Si ó No)
Clasificación U.S.C. <u>ML</u>	ARENA <u>4,8%</u>	A.A.S.H.T.O. <u>A - 4</u>
Índice de Liquidez _____	FINOS <u>95,2%</u>	Índice de Grupo <u>8</u>

OBSERVACIONES

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: J.E.S.P.	Digitó: A.B.	Revisó:	Aprobó: J.E.S.P.
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13	Fecha: 03-sep-13

	SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.	ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO	Formato: SLSP-EL-005-TEC									
PROYECTO: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS		FECHA: 03-sep-13										
LOCALIZACIÓN: _____												
SONDEO: SUSTRATO _____ PROFUNDIDAD _____		MUESTRA Nro. HELECHOS										
DESCRIPCION MUESTRA: ARENA LIMOSA CON TRAZAS DE GRAVAS												
INTERESADO: ING. EDUARDO LEON												
% Pasa Tamiz Nro. 40 56,3		PESO ESPECIFICO 2,601										
SOLUCION UTILIZADA HEXAMETAFOSFATO DE SODIO												
a 1,01 CORRECCION DE CERO 8		PESO DEL SUELO g 50										
HIDROMETRO 152H		CORRECCION POR MENISCO 1										
FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN MINUTOS	TEMPERATURA	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO Rc	LECTURA CORREGIDA Rc	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	PROFUNDIDAD EFECTIVA L	Lt	K	D. Mm	% PASA FINOS	% PASA TOTAL
03-sep-13	07:16 a.m.	0,30	18	27	18,5	28	11,9	39,667	0,01421	0,089	37,4	21,0
		1,00	18	26	17,5	27	12,0	12,000	0,01421	0,049	35,4	19,9
		2,00	18	24	15,5	25	12,4	6,200	0,01421	0,035	31,3	17,6
		4,00	18	23	14,5	24	12,5	3,125	0,01421	0,025	29,3	16,5
		8,00	18	22	13,5	23	12,7	1,588	0,01421	0,018	27,3	15,4
		15,00	18	21	12,5	22	12,9	0,860	0,01421	0,013	25,3	14,2
		30,00	18	20	11,5	21	13,0	0,433	0,01421	0,009	23,2	13,1
		60,00	18	19	10,5	20	13,2	0,220	0,01421	0,007	21,2	11,9
		120,00	18	18	9,5	19	13,3	0,111	0,01421	0,005	19,2	10,8
		240,00	18	16	7,5	17	13,7	0,057	0,01421	0,003	15,2	8,5
04-sep-13	07:16 a.m.	480,00	18	15	6,5	16	13,8	0,029	0,01421	0,002	13,1	7,4
		720,00	18	14	5,5	15	14,0	0,019	0,01421	0,002	11,1	6,3
		1440,00	18	13	4,5	14	14,2	0,010	0,01421	0,001	9,1	5,1




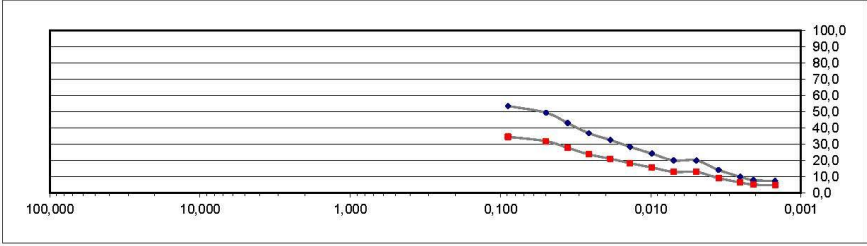
CONVENCIONES
■ % PASA HIDROMETRO
◆ % PASA TOTAL MUESTRA

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
 Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: Jorge Sierra	Revisó:	Aprobó: J.E.S.P.		Archivo:
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 04-sep-13	Fecha: 04-sep-13		

		SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.		ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO				Formato: SLSP-EL-005-TEC				
PROYECTO: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS								FECHA: 03-sep-13				
LOCALIZACIÓN: _____												
SONDEO: SUSTRATO _____		PROFUNDIDAD _____		MUESTRA Nro. CINTAS _____								
DESCRIPCION MUESTRA: LIMO ARENO GRAVILLOSO												
INTERESADO: ING. EDUARDO LEON												
% Pasa Tamiz Nro. 40 64,5		PESO ESPECIFICO 2,364		SOLUCION UTILIZADA HEXAMETAFOFATO DE SODIO								
a 1,05		CORRECCION DE CERO 8		PESO DEL SUELO g 50		HIDROMETRO 152H		CORRECCION POR MENISCO 1				
FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN MINUTOS	TEMPERATURA	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO R _c	LECTURA CORREGIDA R _c	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	PROFUNDIDAD EFECTIVA L	Lt	K	D. Mm	% PASA FINOS	% PASA TOTAL
03-sep-13	07:24 a.m.	0,30	18	34	25,5	35	10,7	35,667	0,01492	0,089	53,6	34,5
		1,00	18	32	23,5	33	11,1	11,100	0,01492	0,050	49,4	31,8
		2,00	18	29	20,5	30	11,5	5,750	0,01492	0,036	43,1	27,8
		4,00	18	26	17,5	27	12,0	3,000	0,01492	0,026	36,8	23,7
		8,00	18	24	15,5	25	12,4	1,550	0,01492	0,019	32,6	21,0
		15,00	18	22	13,5	23	12,7	0,847	0,01492	0,014	28,4	18,3
		30,00	18	20	11,5	21	13,0	0,433	0,01492	0,010	24,2	15,6
		60,00	18	18	9,5	19	13,3	0,222	0,01492	0,007	20,0	12,9
		120,00	18	18	9,5	19	13,3	0,111	0,01492	0,005	20,0	12,9
		240,00	19	15	6,7	16	13,8	0,058	0,01474	0,004	14,1	9,1
04-sep-13	07:24 a.m.	480,00	19	13	4,7	14	14,2	0,030	0,01474	0,003	9,9	6,4
		720,00	19	12	3,7	13	14,3	0,020	0,01474	0,002	7,8	5,0
04-sep-13	07:24 a.m.	1440,00	18	12	3,5	13	14,3	0,010	0,01492	0,001	7,4	4,7


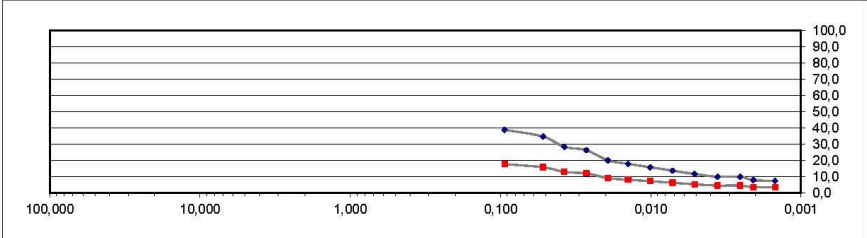



CONVENCIONES
■ % PASA HIDROMETRO
◆ % PASA TOTAL MUESTRA

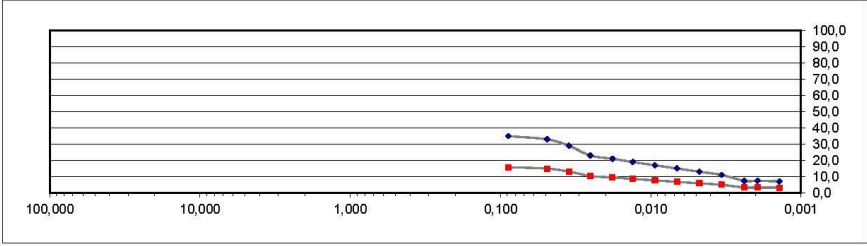
OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
 Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: Jorge Sierra	Revisó:	Aprobó: J.E.S.P.	Archivo:
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 04-sep-13	Fecha: 04-sep-13	

		SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.		ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO				Formato: SLSP-EL-005-TEC				
PROYECTO: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS								FECHA: 03-sep-13				
LOCALIZACIÓN:												
SONDEO: SUSTRATO				PROFUNDIDAD:				MUESTRA Nro.: CEDUMS				
DESCRIPCION MUESTRA: ARENA CON ALGO DE LIMO Y GRAVAS												
INTERESADO: ING. EDUARDO LEON												
% Pasa Tamiz Nro. 40 45,6				PESO ESPECIFICO 2,386				SOLUCION UTILIZADA HEXAMETAFOFATO DE SODIO				
a 1,05				CORRECCION DE CERO 8				PESO DEL SUELO g 50				
HIDROMETRO 152H				CORRECCION POR MENISCO 1								
FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN MINUTOS	TEMPERATURA	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO Rc	LECTURA CORREGIDA Rc	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	PROFUNDIDAD EFECTIVA L	L/t	K	D. Mm	% PASA FINOS	% PASA TOTAL
03-sep-13	07:33 a.m.	0,30	18	27	18,5	28	11,9	39,667	0,01492	0,094	38,9	17,7
		1,00	18	25	16,5	26	12,2	12,200	0,01492	0,052	34,7	15,8
		2,00	18	22	13,5	23	12,7	6,350	0,01492	0,038	28,4	12,9
		4,00	18	21	12,5	22	12,9	3,225	0,01492	0,027	26,3	12,0
		8,00	18	18	9,5	19	13,3	1,663	0,01492	0,019	20,0	9,1
		15,00	18	17	8,5	18	13,5	0,900	0,01492	0,014	17,9	8,1
		30,00	18	16	7,5	17	13,7	0,457	0,01492	0,010	15,8	7,2
		60,00	18	15	6,5	16	13,8	0,230	0,01492	0,007	13,7	6,2
		120,00	18	14	5,5	15	14,0	0,117	0,01492	0,005	11,6	5,3
		240,00	19	13	4,7	14	14,2	0,059	0,01474	0,004	9,9	4,5
		480,00	19	13	4,7	14	14,2	0,030	0,01474	0,003	9,9	4,5
		720,00	19	12	3,7	13	14,3	0,020	0,01474	0,002	7,8	3,5
04-sep-13	07:33 a.m.	1440,00	18	12	3,5	13	14,3	0,010	0,01492	0,001	7,4	3,4
												
CONVENCIONES ■ % PASA HIDROMETRO ◆ % PASA TOTAL MUESTRA												
OBSERVACIONES:												
Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.												
Ensayó: Jorge Sierra				Revisó:				Aprobó: J.E.S.P.		Archivo:		
Fecha: 03-sep-13				Fecha: 04-sep-13				Fecha: 04-sep-13				

		SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.		ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO				Formato: SLSP-EL-005-TEC				
PROYECTO: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS								FECHA: 03-sep-13				
LOCALIZACIÓN: _____												
SONDEO: SUSTRATO _____		PROFUNDIDAD _____		MUESTRA Nro. GRANIZOS								
DESCRIPCION MUESTRA: ARENA GRAVILLO LIMOSA												
INTERESADO: ING. EDUARDO LEON												
% Pasa Tamiz Nro. 40 45,1		PESO ESPECIFICO 2,671		SOLUCION UTILIZADA HEXAMETAFOSFATO DE SODIO								
a 1,00		CORRECCION DE CERO 8		PESO DEL SUELO g 50		HIDROMETRO 152H		CORRECCION POR MENISCO 1				
FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN MINUTOS	TEMPERATURA	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO Rc	LECTURA CORREGIDA Rc	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	PROFUNDIDAD EFECTIVA L	Lt	K	D. Mm	% PASA FINOS	% PASA TOTAL
03-sep-13	07:46 a.m.	0,30	18	26	17,5	27	12,0	40,000	0,01399	0,088	35,0	15,8
		1,00	18	25	16,5	26	12,2	12,200	0,01399	0,049	33,0	14,9
		2,00	18	23	14,5	24	12,5	6,250	0,01399	0,035	29,0	13,1
		4,00	18	20	11,5	21	13,0	3,250	0,01399	0,025	23,0	10,4
		8,00	18	19	10,5	20	13,2	1,650	0,01399	0,018	21,0	9,5
		15,00	18	18	9,5	19	13,3	0,887	0,01399	0,013	19,0	8,6
		30,00	18	17	8,5	18	13,5	0,450	0,01399	0,009	17,0	7,7
		60,00	18	16	7,5	17	13,7	0,228	0,01399	0,007	15,0	6,8
		120,00	18	15	6,5	16	13,8	0,115	0,01399	0,005	13,0	5,9
		240,00	18	14	5,5	15	14,0	0,058	0,01399	0,003	11,0	5,0
04-sep-13	07:46 a.m.	480,00	19	12	3,7	13	14,3	0,030	0,01382	0,002	7,4	3,3
		720,00	19	12	3,7	13	14,3	0,020	0,01382	0,002	7,4	3,3
		1440,00	18	12	3,5	13	14,3	0,010	0,01399	0,001	7,0	3,2


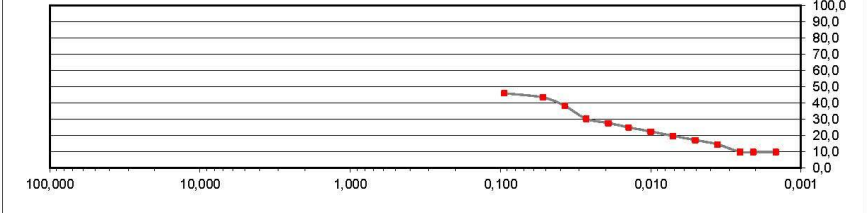


CONVENCIONES
■ % PASA HIDROMETRO
◆ % PASA TOTAL MUESTRA

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo.
 Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.

Ensayó: Jorge Sierra	Revisó:	Aprobó: J.E.S.P.	Archivo:
Fecha: 03-sep-13	Fecha: 04-sep-13	Fecha: 04-sep-13	

		SIERRA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.S.		ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO				Formato: SLSP-EL-005-TEC				
PROYECTO: TESIS EVALUACIÓN DE UNA CUBIERTA VERDE COMO SUDS								FECHA: 03-sep-13				
LOCALIZACIÓN: _____								MUESTRA Nro. BLOSOLIDOS				
SONDEO: SUSTRATO PROFUNDIDAD _____												
DESCRIPCION MUESTRA: LIMO CON TRAZAS DE ARENA												
INTERESADO: ING. EDUARDO LEON												
% Pasa Tamiz Nro. 40		100,0		PESO ESPECIFICO		1,925		SOLUCION UTILIZADA HEXAMETAFOFATO DE SODIO				
a		1,05		CORRECCION DE CERO		8		PESO DEL SUELO g		40		
								HIDROMETRO		152H		
										CORRECCION POR MENISCO		
										1		
FECHA	HORA DE LA LECTURA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN MINUTOS	TEMPERATURA	LECTURA REAL DEL HIDROMETRO R _c	LECTURA CORREGIDA R _c	LECTURA CORREGIDA POR MENISCO	PROFUNDIDAD EFECTIVA L	L/t	K	D. Mm	% PASA FINOS	% PASA TOTAL
03-sep-13	07:46 a.m.	0,30	18	26	17,5	27	12,0	40,000	0,01492	0,094	45,9	45,9
		1,00	18	25	16,5	26	12,2	12,200	0,01492	0,052	43,3	43,3
		2,00	18	23	14,5	24	12,5	6,250	0,01492	0,037	38,1	38,1
		4,00	18	20	11,5	21	13,0	3,250	0,01492	0,027	30,2	30,2
		8,00	18	19	10,5	20	13,2	1,650	0,01492	0,019	27,6	27,6
		15,00	18	18	9,5	19	13,3	0,887	0,01492	0,014	24,9	24,9
		30,00	18	17	8,5	18	13,5	0,450	0,01492	0,010	22,3	22,3
		60,00	18	16	7,5	17	13,7	0,228	0,01492	0,007	19,7	19,7
		120,00	18	15	6,5	16	13,8	0,115	0,01492	0,005	17,1	17,1
		240,00	18	14	5,5	15	14,0	0,058	0,01492	0,004	14,4	14,4
		480,00	19	12	3,7	13	14,3	0,030	0,01474	0,003	9,7	9,7
		720,00	19	12	3,7	13	14,3	0,020	0,01474	0,002	9,7	9,7
04-sep-13	07:46 a.m.	1440,00	19	12	3,7	13	14,3	0,010	0,01474	0,001	9,7	9,7
 <p>CONVENCIONES</p> <p>■ % PASA HIDROMETRO</p> <p>◆ % PASA TOTAL MUESTRA</p>												
OBSERVACIONES: _____												
Los resultados presentados corresponden solamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no es válido sin la firma original del Jefe de Laboratorio y el sello.												
Ensayó: Jorge Sierra				Revisó: _____				Aprobó: J.E.S.P.		Archivo: _____		
Fecha: 03-sep-13				Fecha: 04-sep-13				Fecha: 04-sep-13				

Anexo B. Curvas de retención de humedad

	RESULTADOS RETENCIÓN DE HUMEDAD										FECHA				
	GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS										AAAA-MM-DD				
											2013-05-24				
NOMBRE Y APELLIDO/ EMPRESA/ PROYECTO <u>YARDA CONSTRUCCIONES SAS</u>										TIPO DE MUESTRA <u>SUELO</u>					
DIRECCIÓN DEL CLIENTE <u>AV 19 No 128 B- 66 APTO 201</u>										SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/> DE FECHA _____					
DEPARTAMENTO <u>N.E.</u> MUNICIPIO <u>N.E.</u>										LOCALIZACIÓN <u>N.E.</u>					
IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	HORIZONTE		No. DE LABORATORIO	RETENCIÓN DE HUMEDAD					HUMEDAD APROVECHABLE (%)	DENSIDAD (g/cm ³)		POROSIDAD (%)			
	Profundidad (cm)	Nomenclatura		KILOPASCAL (kPa)						REAL	APARENTE	MACROPOROS	MICROPOROS	POROSIDAD TOTAL	
				0	-33	-100	-500	-1500							
1 - Cintas	-	-	4-07538	55,74	24,24	20,52	14,37	10,14	14,10						
2 - Granizo	-	-	4-07539	46,90	17,75	15,48	10,01	8,24	9,51						
3 - Helecho	-	-	4-07540	34,32	10,93	9,69	7,60	7,21	3,72						
4 Sedum	-	-	4-07541	59,03	11,54	9,33	7,80	5,73	5,81						
5 Biosolido	-	-	4-07542	179,33	67,23	65,34	63,93	43,93	23,31						

CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

— 4-07538 — 4-07539 — 4-07540 — 4-07541 — 4-07542

θg = Humedad gravimétrica θv = Humedad volumétrica H.A = Humedad aprovechable = Retención de Humedad a - 33 kPa - Retención de Humedad a - 1500 kPa

OBSERVACIONES _____

NOTA: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax o e-mail se conservarán durante tres años a partir de la entrega de los mismos. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se limita al análisis de la(s) muestra(s) entregadas por el cliente.

Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 48-51, Telefax 3694016 ó 3694000 Ext. 4016, mail: laboratorio@igac.gov.co

Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.

APROBADO POR FUNCIONARIO RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:

 Nombre

 Firma

Pág 2 de 2

Anexo C.Eventos de tormentas monitoreados

Cubierta de control 2%				
Fecha de la tormenta	Volumen total (10⁻⁵ m³)	Caudal máximo (m³/s) x (10⁻⁵)	Tiempo al centroide (min)	Duración del evento (min)
24/03/2012	4.12	0.12	54	140
26/03/2012	1.92	0.09	40	100
26/03/2012	6.89	0.31	79	220
07/04/2012	3.32	0.27	94	210
10/04/2012	5.03	0.40	78	260
10/04/2012	19.03	0.29	179	500
11/04/2012	0.58	0.05	29	70
13/04/2012	12.46	1.22	44	150
14/04/2012	0.59	0.09	30	80
30/04/2012	10.02	0.11	196	450
07/05/2012	2.79	0.14	93	200
04/02/2013	2.49	0.12	54	120
04/02/2013	3.13	0.19	40	120
08/02/2013	3.82	0.31	35	100
15/03/2013	6.76	1.20	36	90
17/03/2013	3.48	0.48	19	50
17/03/2013	4.59	0.26	50	160
28/03/2013	3.67	0.88	13	50
03/04/2013	1.70	0.19	38	94
05/04/2013	4.05	0.38	18	70
11/04/2013	1.36	0.13	23	60
18/04/2013	7.70	0.21	97	326
18/04/2013	8.98	0.07	235	620
19/04/2013	11.46	0.28	303	760
20/04/2013	10.37	0.86	47	140
21/04/2013	2.61	0.06	82	230
02/05/2013	4.52	0.29	27	100
03/05/2013	4.59	0.38	23	80
04/05/2013	9.63	0.33	44	160
07/05/2013	4.43	0.14	104	240
20/05/2013	4.76	0.17	41	120
21/05/2013	16.03	0.68	534	1180
22/05/2013	1.58	0.17	16	70
22/05/2013	2.20	0.26	16	60
24/05/2013	5.09	0.14	91	200
Mínimo	0.58	0.05	13	
Máximo	19.03	1.22	534	
Media	4.19	0.23	54	
Mediana	4.43	0.26	44	
Desviación estandar	4.31	0.30	102	

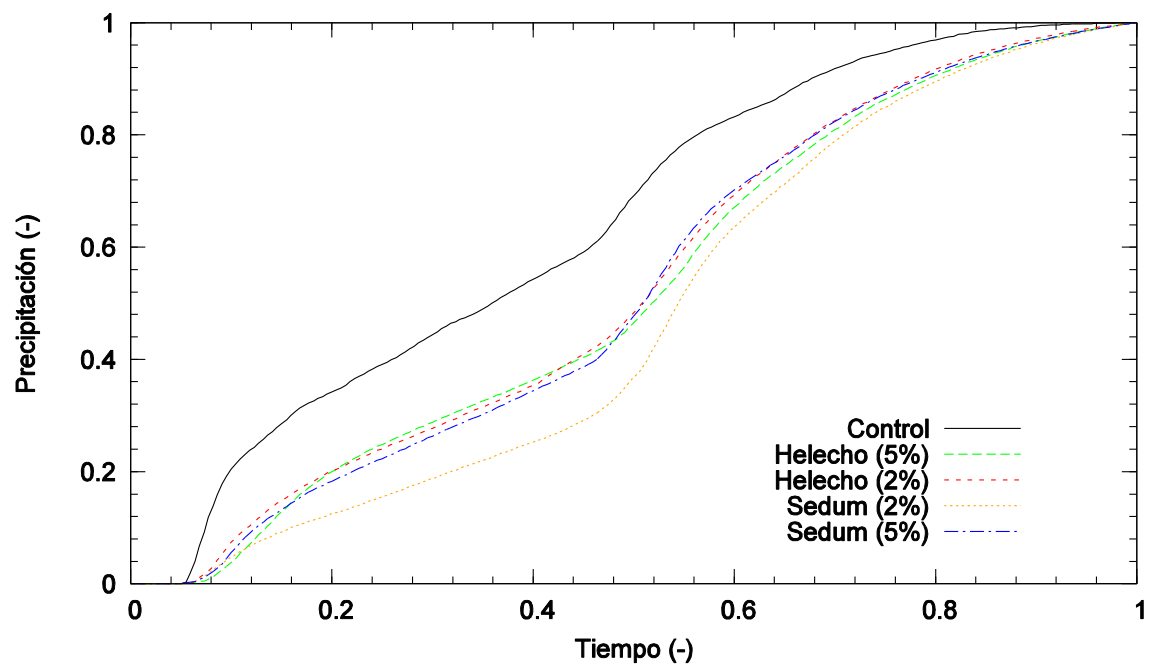
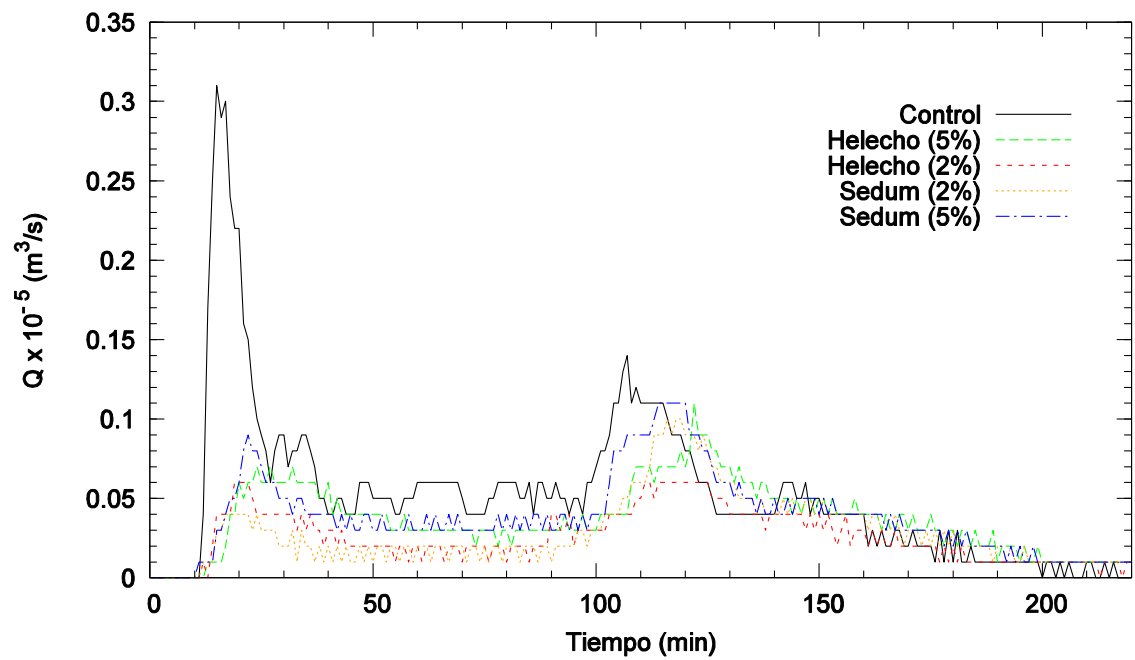
Cubierta de Helecho 5%				
Fecha de la tormenta	Volumen total (10 ⁻⁵ m ³)	Caudal máximo (m ³ /s) x (10 ⁻⁵)	Tiempo al centroide (min)	Duración del evento (min)
24/03/2012	1.67	0.05	82	140
26/03/2012	0.22	0.02	71	100
26/03/2012	4.85	0.11	105	220
07/04/2012	0.28	0.06	111	210
10/04/2012	0.47	0.02	80	260
10/04/2012	14.66	0.14	223	500
11/04/2012	0.35	0.04	41	70
13/04/2012	7.65	0.29	62	150
14/04/2012	0.86	0.04	36	80
30/04/2012	2.03	0.03	267	450
07/05/2012	0.43	0.02	75	200
04/02/2013	0.19	0.01	64	120
04/02/2013	0.40	0.03	43	120
08/02/2013	2.42	0.11	42	100
15/03/2013	0.75	0.03	44	90
17/03/2013	1.48	0.15	27	50
17/03/2013	1.67	0.09	62	160
28/03/2013	0.37	0.06	18	50
03/04/2013	0.06	0.01	49	94
05/04/2013	1.19	0.09	34	70
11/04/2013	0.06	0.01	29	60
18/04/2013	0.86	0.02	113	326
18/04/2013	2.42	0.03	309	620
19/04/2013	2.90	0.06	271	760
20/04/2013	9.09	0.43	65	140
21/04/2013	0.35	0.01	107	230
02/05/2013	1.17	0.06	39	100
03/05/2013	1.55	0.07	32	80
04/05/2013	3.66	0.10	66	160
07/05/2013	0.98	0.04	123	240
20/05/2013	0.40	0.01	52	120
21/05/2013	4.07	0.07	487	1180
22/05/2013	0.33	0.06	23	70
22/05/2013	0.48	0.04	23	60
24/05/2013	1.60	0.03	106	200
Mínimo	0.06	0.01	18	
Máximo	14.66	0.43	487	
Media	0.96	0.05	68	
Mediana	0.98	0.04	64	
Desviación estandar	3.00	0.08	100	

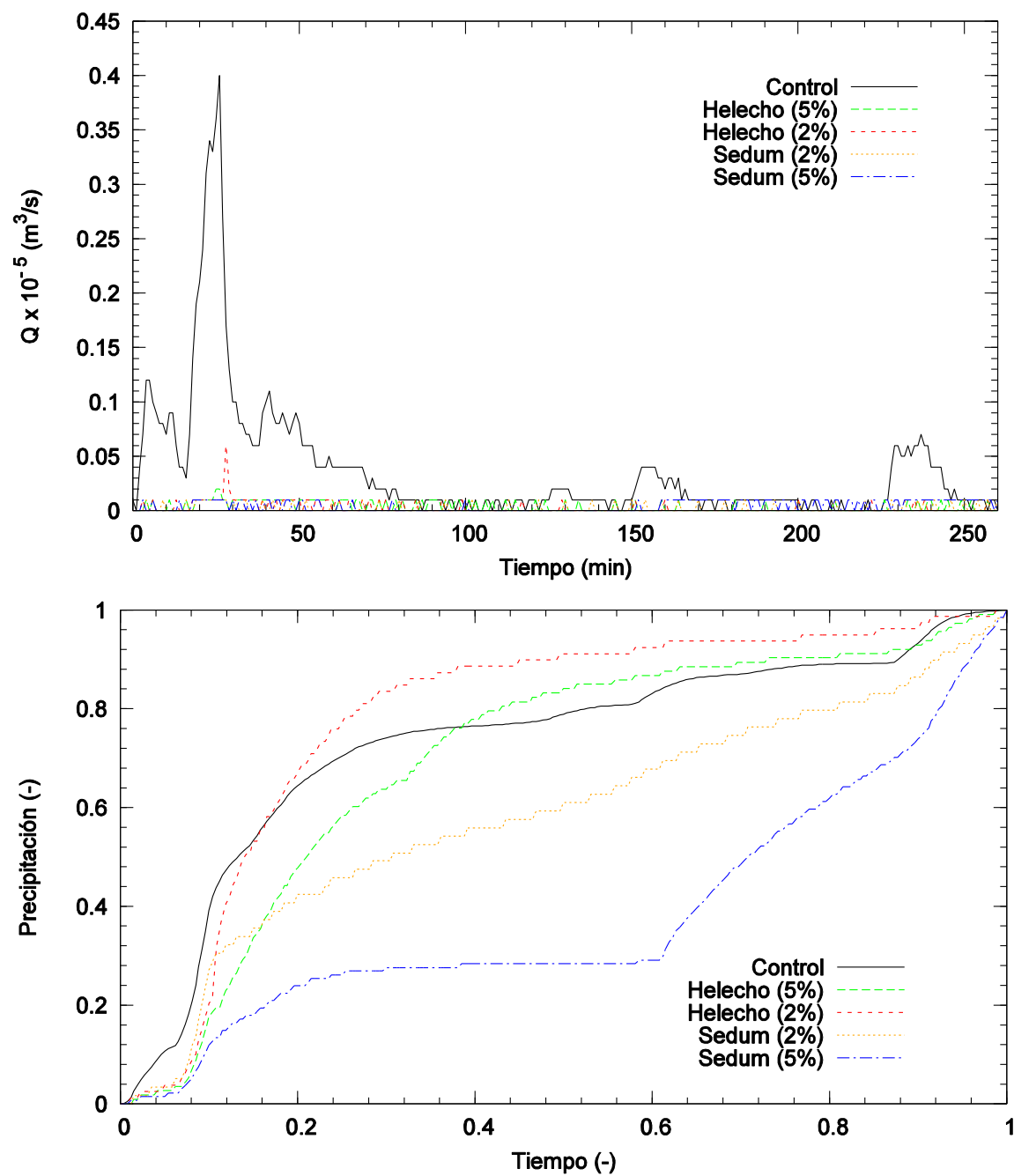
Cubierta de Helecho 2%

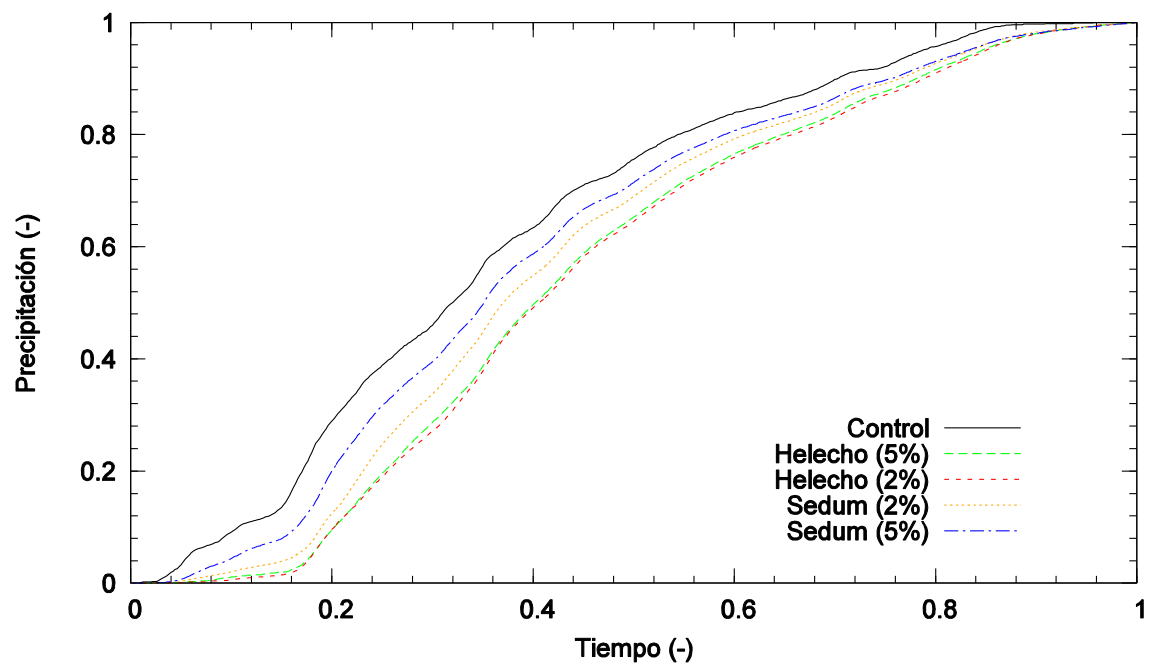
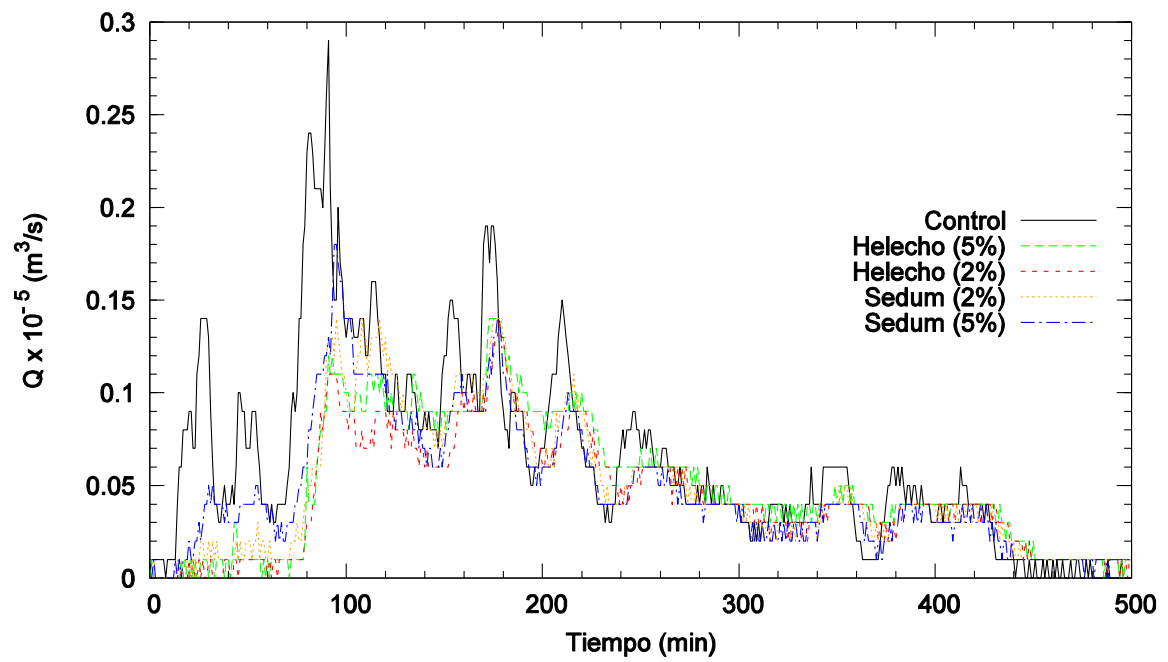
Fecha de la tormenta	Volumen total (10⁻⁵ m³)	Caudal máximo (m³/s) x (10[^]- 5)	Tiempo al centroide (min)	Duración del evento (min)
24/03/2012	1.19	0.04	76	140
26/03/2012	0.26	0.01	60	100
26/03/2012	3.47	0.06	104	220
07/04/2012	0.12	0.02	107	210
10/04/2012	0.33	0.06	59	260
10/04/2012	12.81	0.14	226	500
11/04/2012	0.30	0.02	41	70
13/04/2012	8.84	0.43	67	150
14/04/2012	0.68	0.04	37	80
30/04/2012	1.64	0.04	303	450
07/05/2012	0.17	0.01	70	200
04/02/2013	0.22	0.01	57	120
04/02/2013	0.53	0.02	43	120
08/02/2013	2.93	0.14	45	100
15/03/2013	1.01	0.04	47	90
17/03/2013	1.26	0.16	25	50
17/03/2013	1.81	0.08	68	160
28/03/2013	0.50	0.08	16	50
03/04/2013	0.10	0.01	48	94
05/04/2013	1.33	0.11	31	70
11/04/2013	0.11	0.01	26	60
18/04/2013	0.79	0.01	109	326
18/04/2013	2.25	0.02	330	620
19/04/2013	6.18	0.09	324	760
20/04/2013	5.35	0.38	51	140
21/04/2013	0.54	0.01	115	230
02/05/2013	1.39	0.06	46	100
03/05/2013	2.10	0.09	39	80
04/05/2013	5.24	0.15	69	160
07/05/2013	2.12	0.06	132	240
20/05/2013	0.46	0.01	49	120
21/05/2013	8.75	0.10	588	1180
22/05/2013	0.52	0.03	32	70
22/05/2013	1.00	0.04	30	60
24/05/2013	2.20	0.04	120	200
Mínimo	0.10	0.01	16	
Máximo	12.81	0.43	588	
Media	1.06	0.04	70	
Mediana	1.19	0.04	59	
Desviación estandar	2.94	0.09	118	

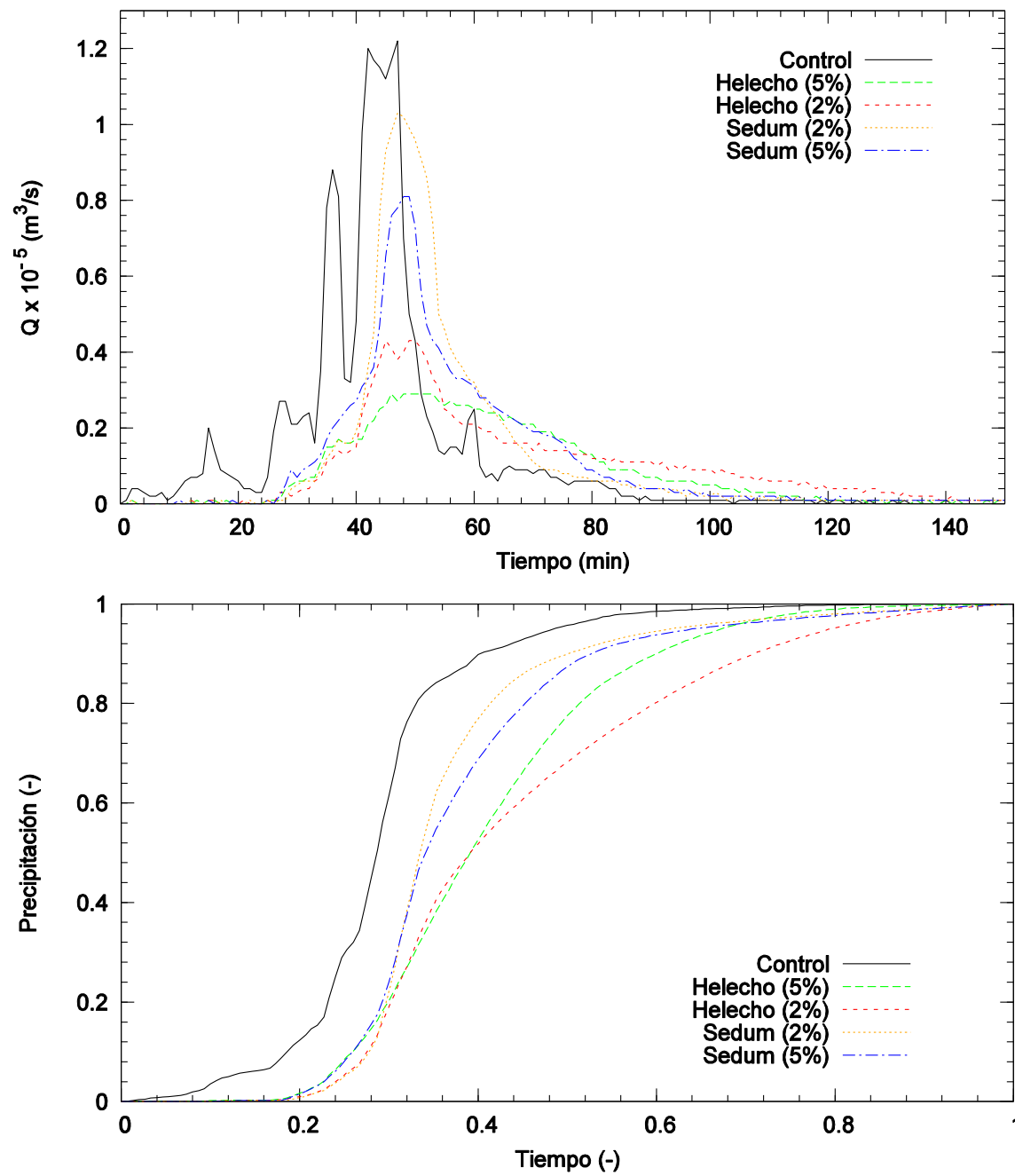
Cubierta de control 2%				
Fecha de la tormenta	Volumen total (10 ⁻⁵ m ³)	Caudal máximo (m ³ /s) x (10 ⁻⁵)	Tiempo al centroide (min)	Duración del evento (min)
24/03/2012	4.12	0.12	54	140
26/03/2012	1.92	0.09	40	100
26/03/2012	6.89	0.31	79	220
07/04/2012	3.32	0.27	94	210
10/04/2012	5.03	0.40	78	260
10/04/2012	19.03	0.29	179	500
11/04/2012	0.58	0.05	29	70
13/04/2012	12.46	1.22	44	150
14/04/2012	0.59	0.09	30	80
30/04/2012	10.02	0.11	196	450
07/05/2012	2.79	0.14	93	200
04/02/2013	2.49	0.12	54	120
04/02/2013	3.13	0.19	40	120
08/02/2013	3.82	0.31	35	100
15/03/2013	6.76	1.20	36	90
17/03/2013	3.48	0.48	19	50
17/03/2013	4.59	0.26	50	160
28/03/2013	3.67	0.88	13	50
03/04/2013	1.70	0.19	38	94
05/04/2013	4.05	0.38	18	70
11/04/2013	1.36	0.13	23	60
18/04/2013	7.70	0.21	97	326
18/04/2013	8.98	0.07	235	620
19/04/2013	11.46	0.28	303	760
20/04/2013	10.37	0.86	47	140
21/04/2013	2.61	0.06	82	230
02/05/2013	4.52	0.29	27	100
03/05/2013	4.59	0.38	23	80
04/05/2013	9.63	0.33	44	160
07/05/2013	4.43	0.14	104	240
20/05/2013	4.76	0.17	41	120
21/05/2013	16.03	0.68	534	1180
22/05/2013	1.58	0.17	16	70
22/05/2013	2.20	0.26	16	60
24/05/2013	5.09	0.14	91	200
Mínimo	0.58	0.05	13	
Máximo	19.03	1.22	534	
Media	4.19	0.23	54	
Mediana	4.43	0.26	44	
Desviación estandar	4.31	0.30	102	

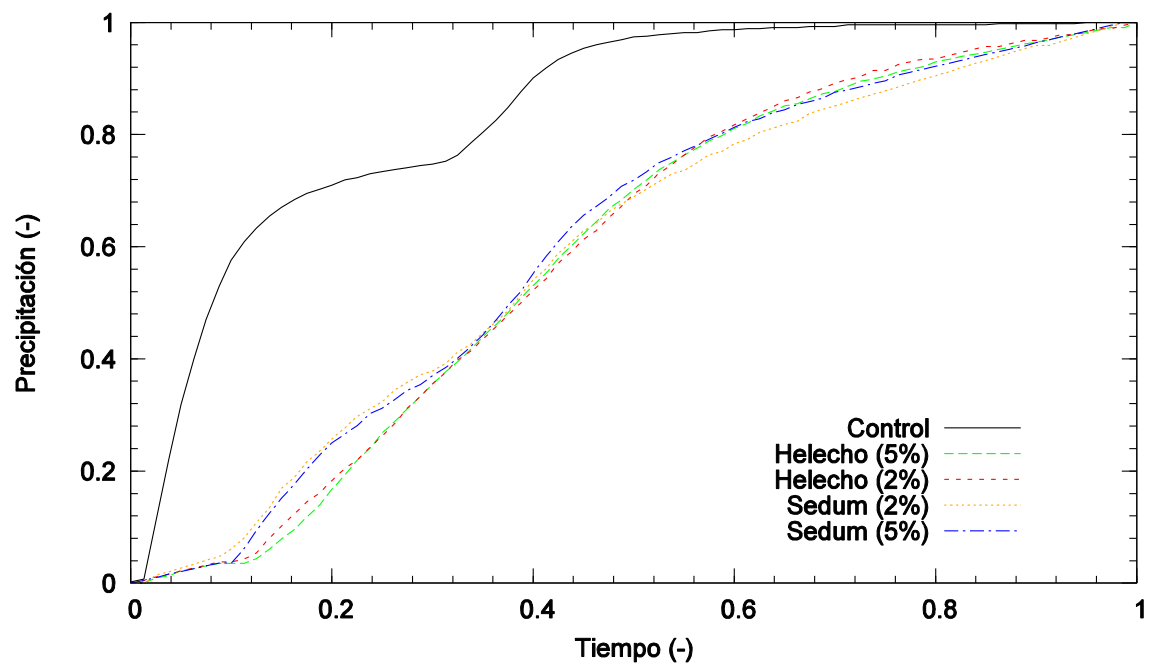
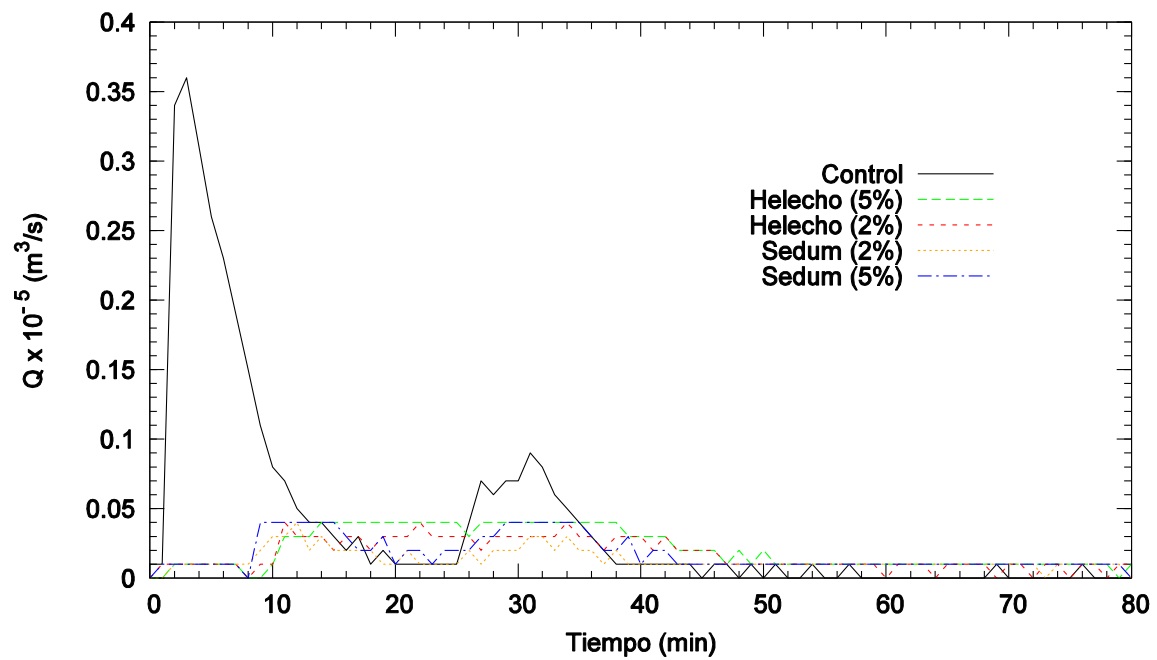
Cubierta de Sedum 2%				
Fecha de la tormenta	Volumen total (10^{-5} m^3)	Caudal máximo (m^3/s) x ($10^4 - 5$)	Tiempo al centroide (min)	Duración del evento (min)
24/03/2012	0.92	0.03	79	140
26/03/2012	0.20	0.01	68	100
26/03/2012	3.91	0.10	115	220
07/04/2012	0.12	0.01	109	210
10/04/2012	0.24	0.01	111	260
10/04/2012	14.33	0.14	211	500
11/04/2012	0.31	0.01	36	70
13/04/2012	11.22	1.03	55	150
14/04/2012	0.50	0.03	39	80
30/04/2012	1.80	0.03	296	450
07/05/2012	0.32	0.01	69	200
04/02/2013	0.09	0.01	56	120
04/02/2013	0.36	0.01	52	120
08/02/2013	3.32	0.24	46	100
15/03/2013	0.63	0.02	46	90
17/03/2013	1.32	0.19	28	50
17/03/2013	2.80	0.11	70	160
28/03/2013	0.24	0.05	16	50
03/04/2013	0.05	0.01	44	94
05/04/2013	0.72	0.09	32	70
11/04/2013	0.05	0.01	25	60
18/04/2013	0.50	0.01	113	326
18/04/2013	3.68	0.03	359	620
19/04/2013	9.15	0.16	334	760
20/04/2013	2.75	0.56	39	140
21/04/2013	1.50	0.03	116	230
02/05/2013	1.37	0.06	47	100
03/05/2013	2.28	0.09	37	80
04/05/2013	6.31	0.31	68	160
07/05/2013	2.38	0.04	130	240
20/05/2013	0.31	0.01	53	120
21/05/2013	12.39	0.22	622	1180
22/05/2013	0.61	0.04	29	70
22/05/2013	0.89	0.05	25	60
24/05/2013	2.39	0.04	122	200
Mínimo	0.05	0.01	16	
Máximo	14.33	1.03	622	
Media	0.98	0.04	71	
Mediana	0.92	0.04	56	
Desviación estandar	3.69	0.20	124	

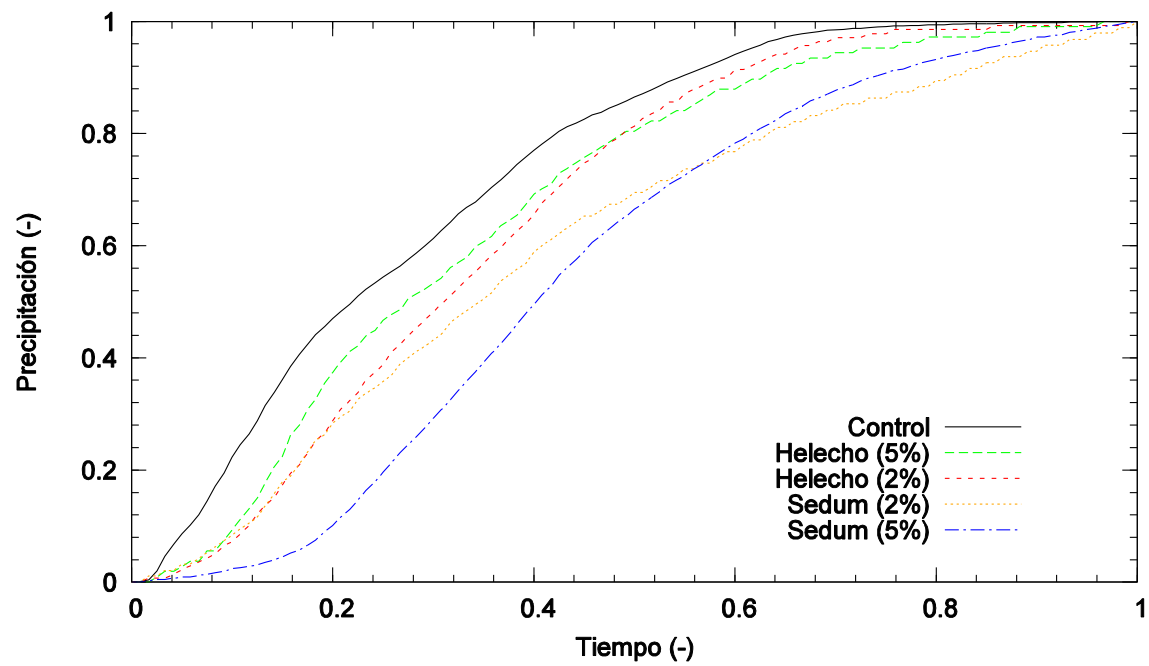
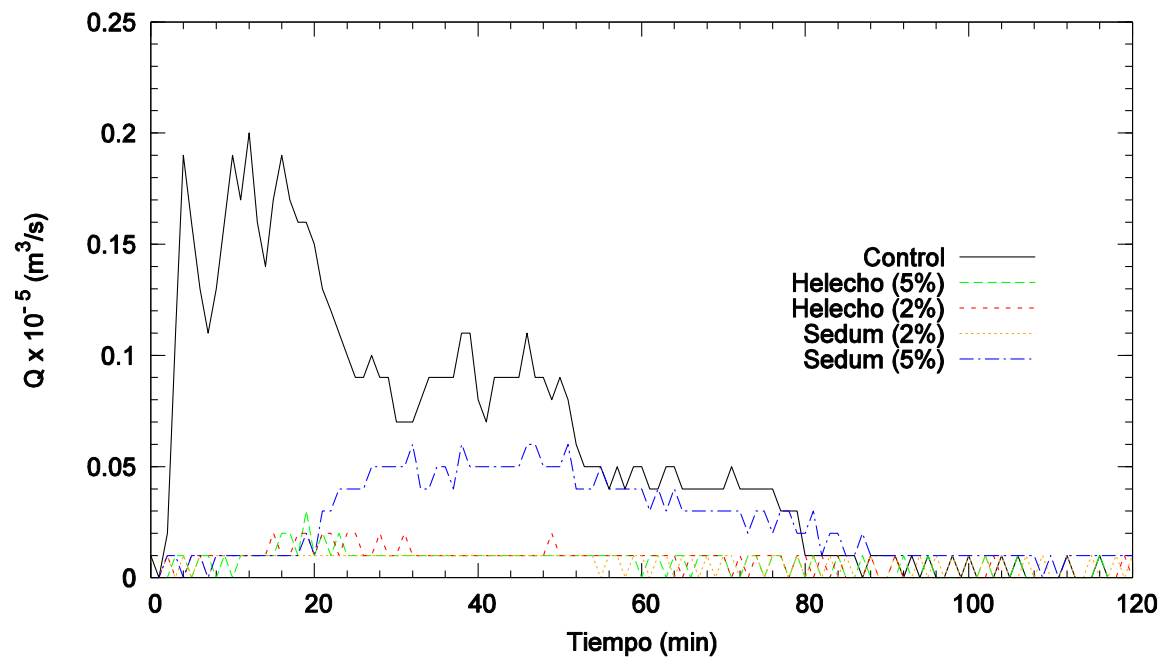
Tormenta 2012-03-26_iii

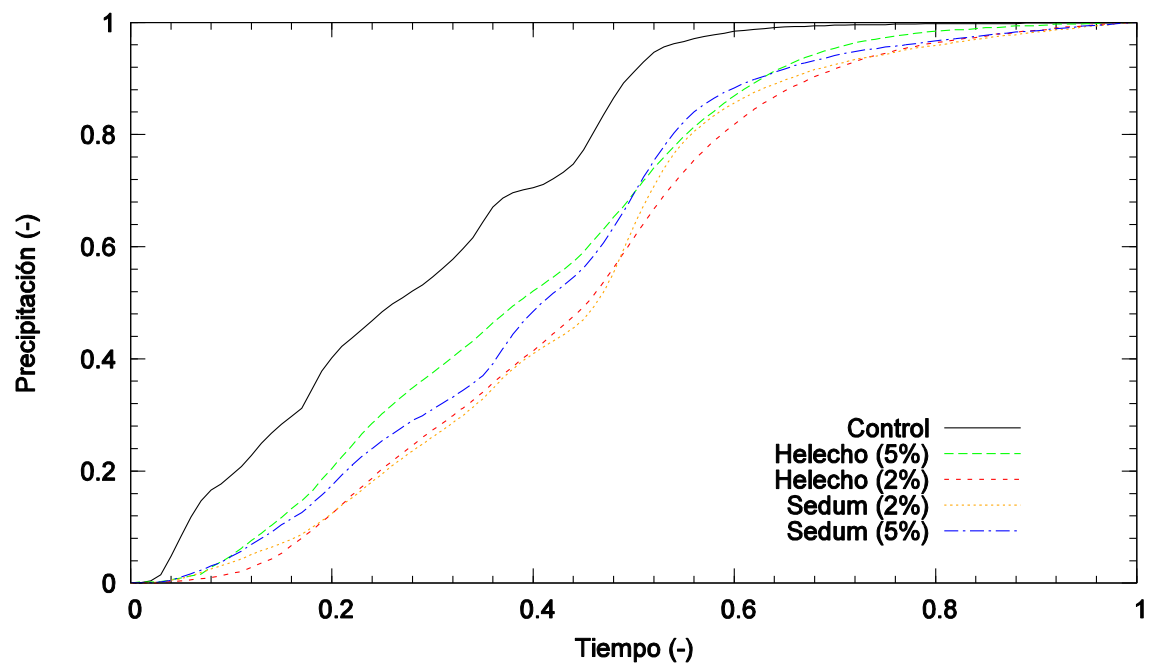
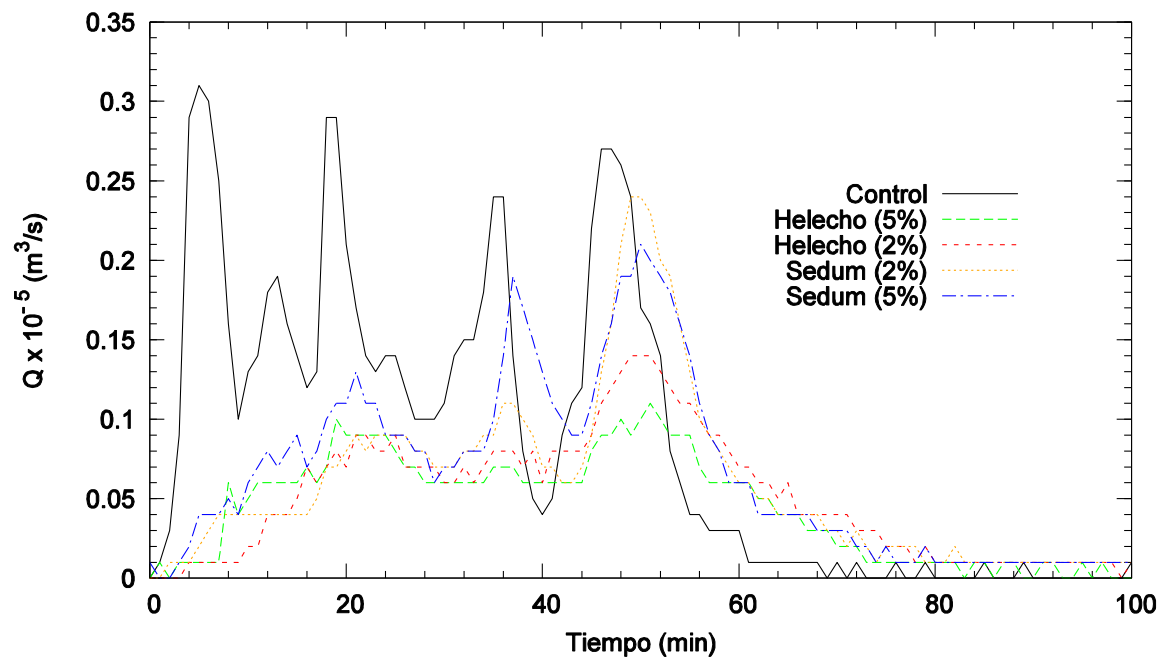
Tormenta 2012-04-10

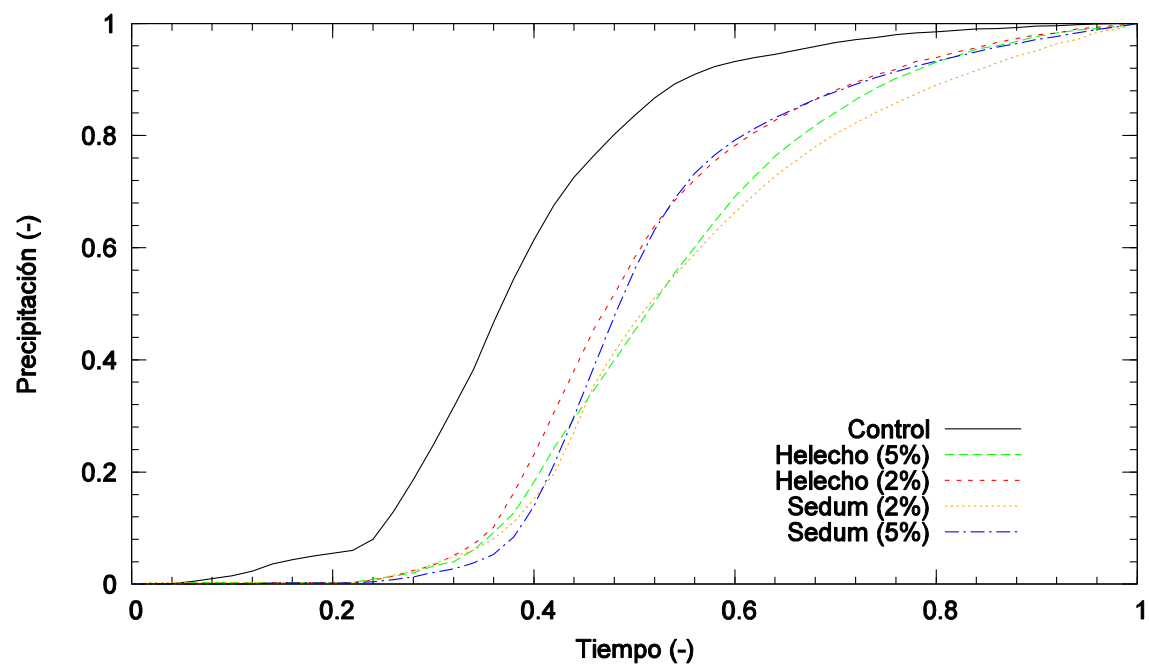
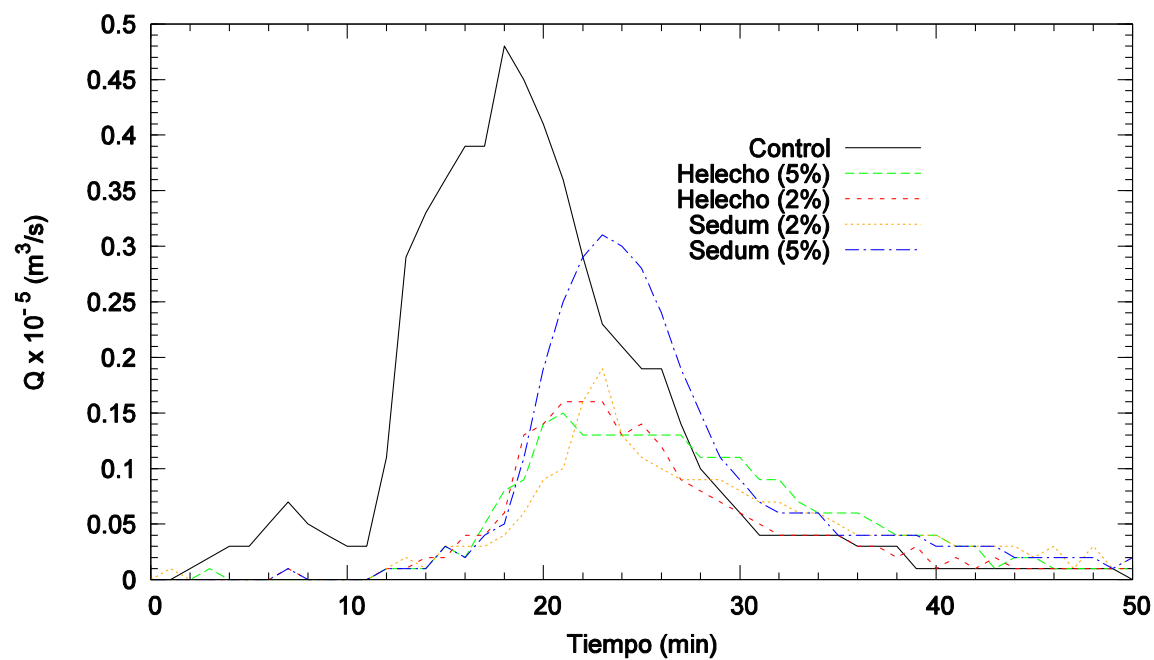
Tormenta 2012-04-10_ii

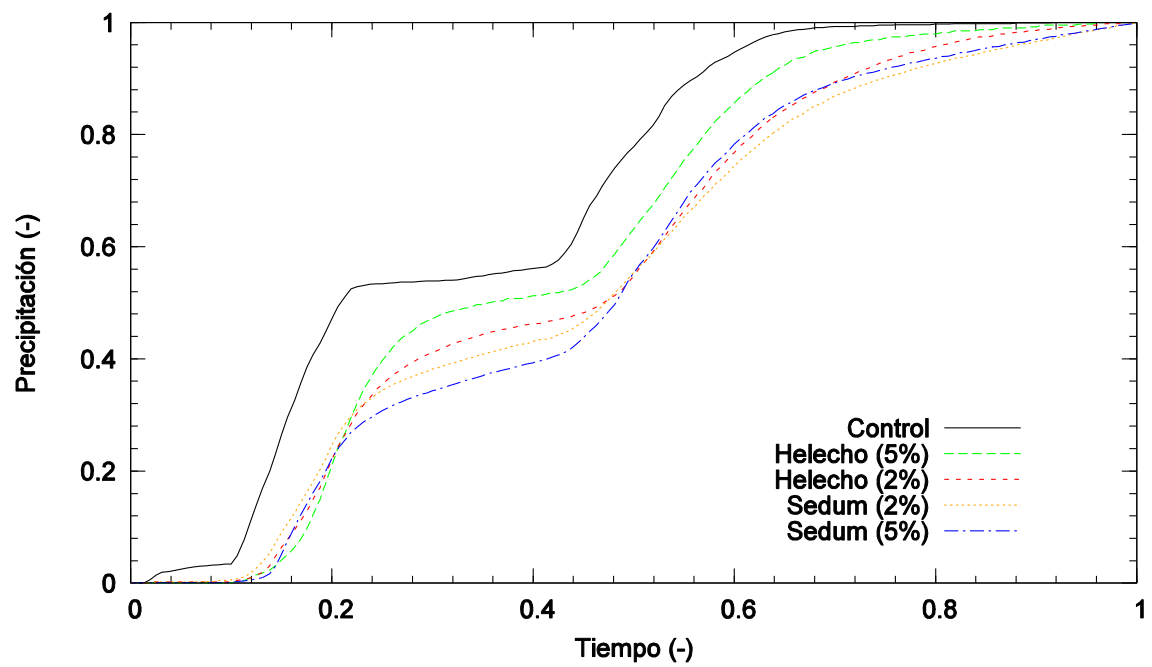
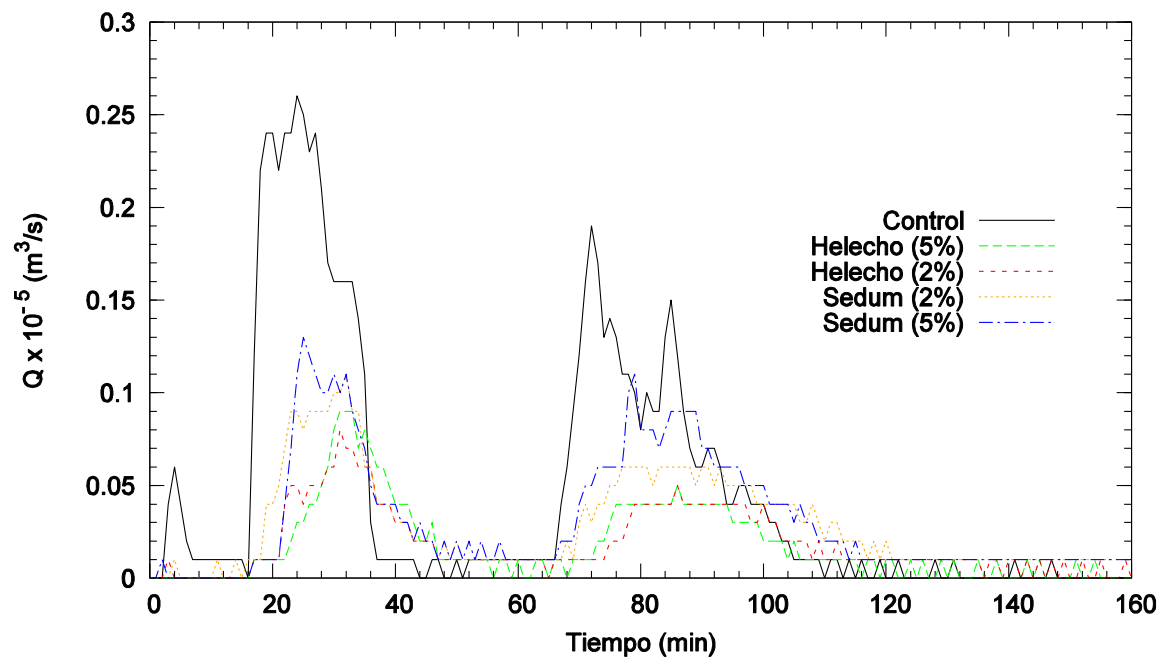
Tormenta 2012-04-13

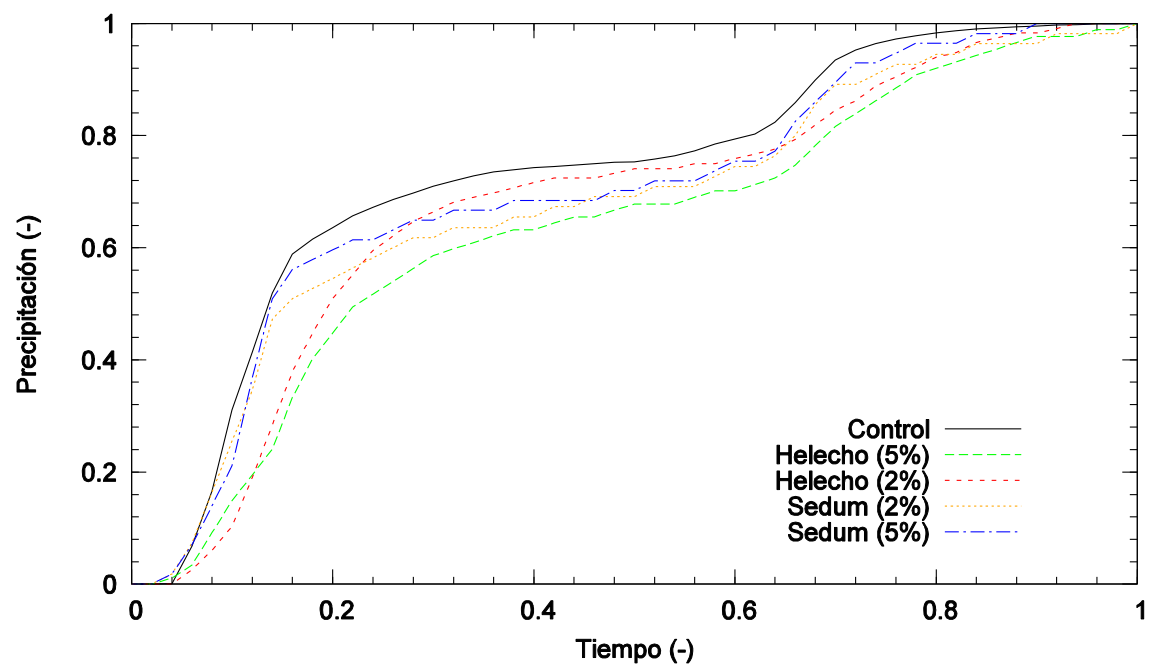
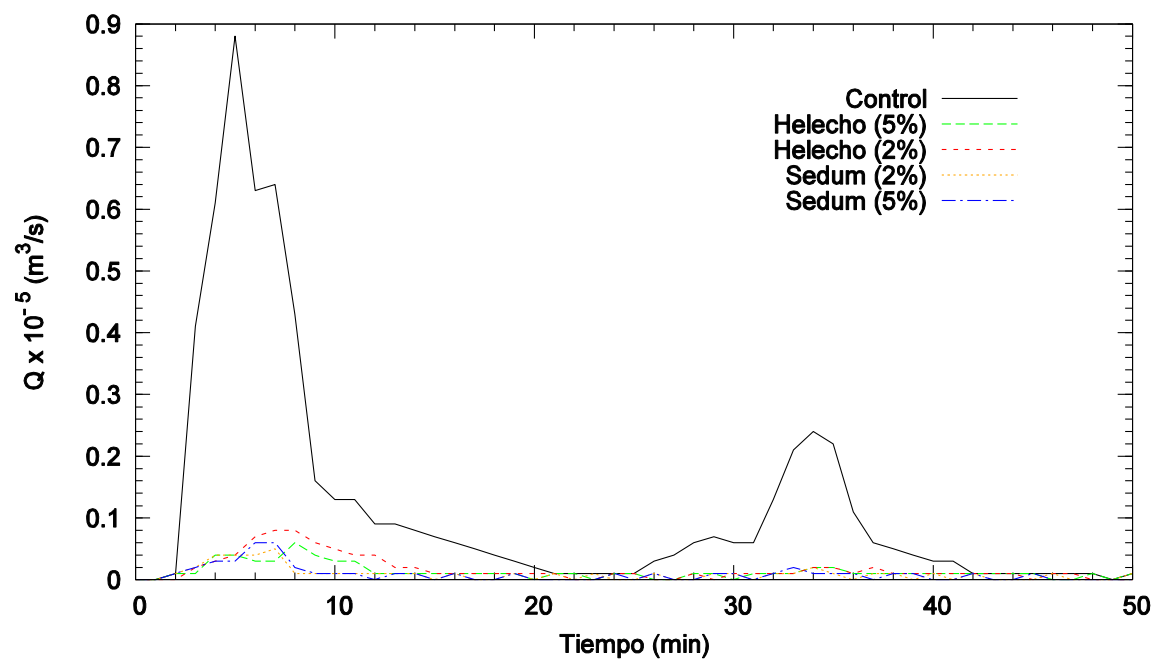
Tormenta 2012-04-14

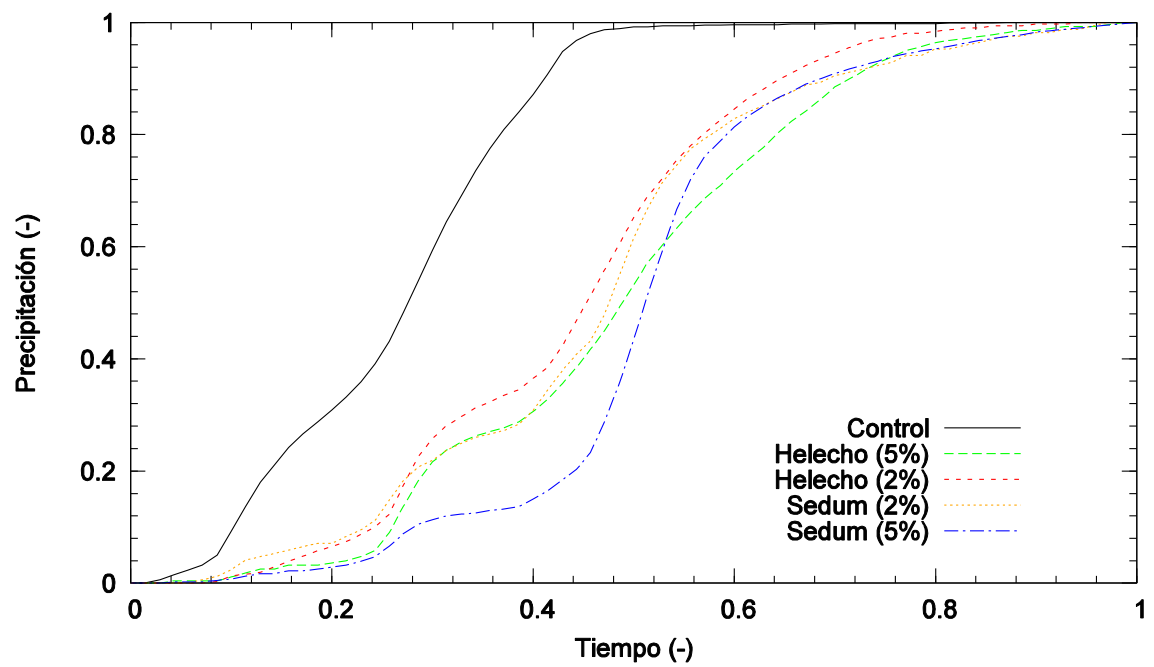
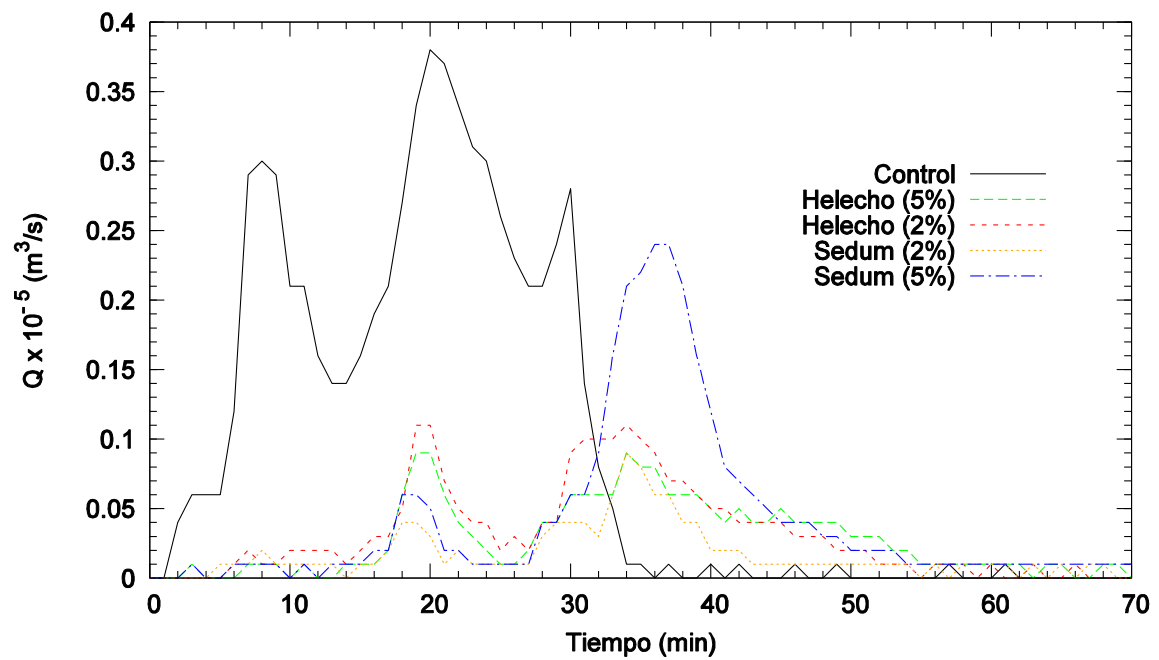
Tormenta 2013-02-04_ii

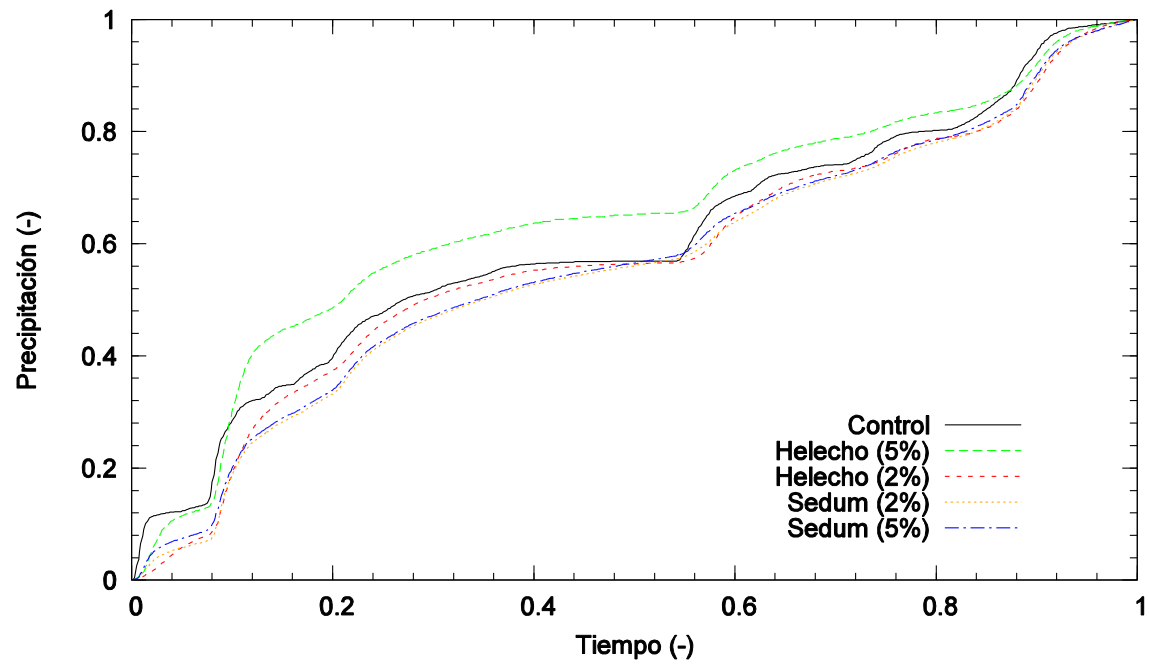
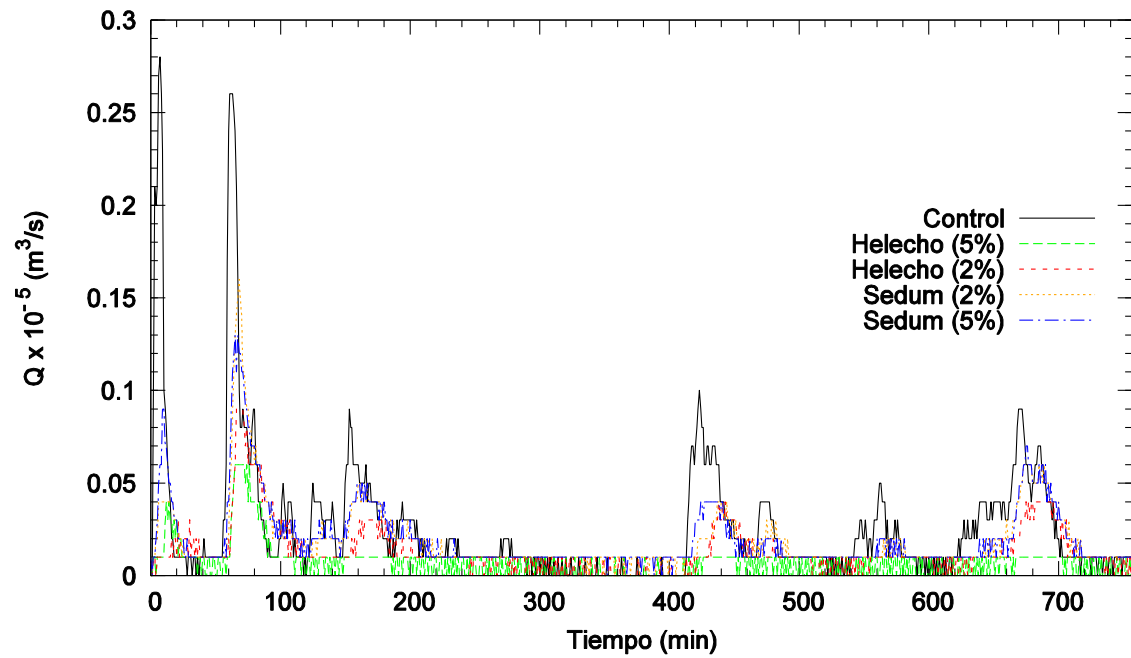
Tormenta 2013-02-08

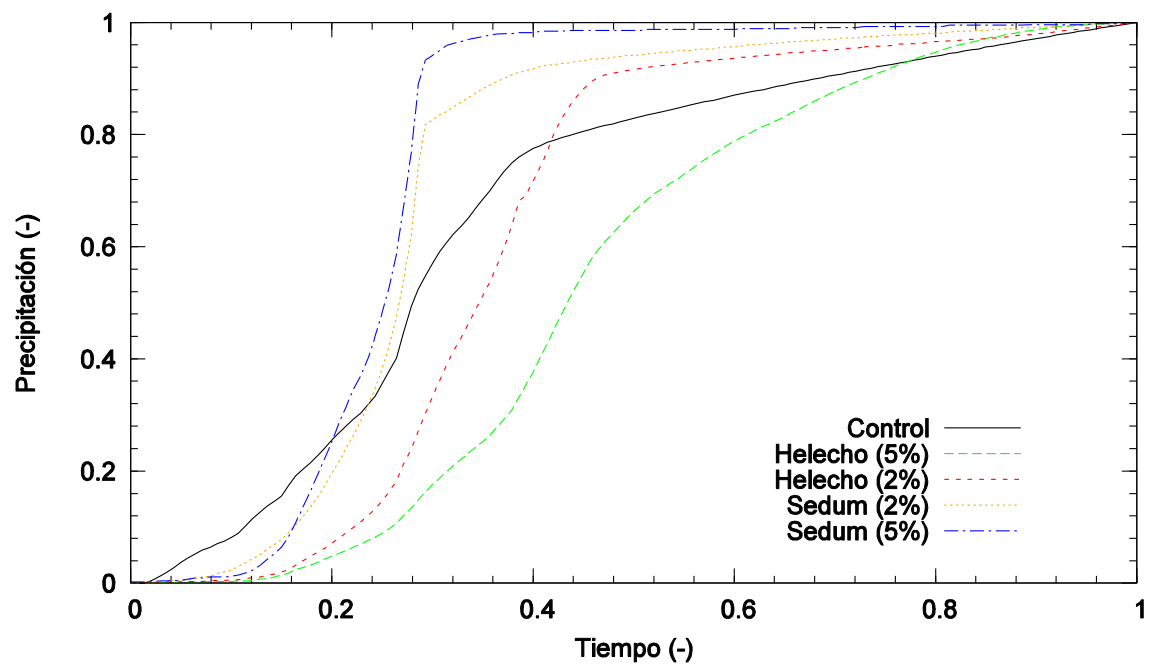
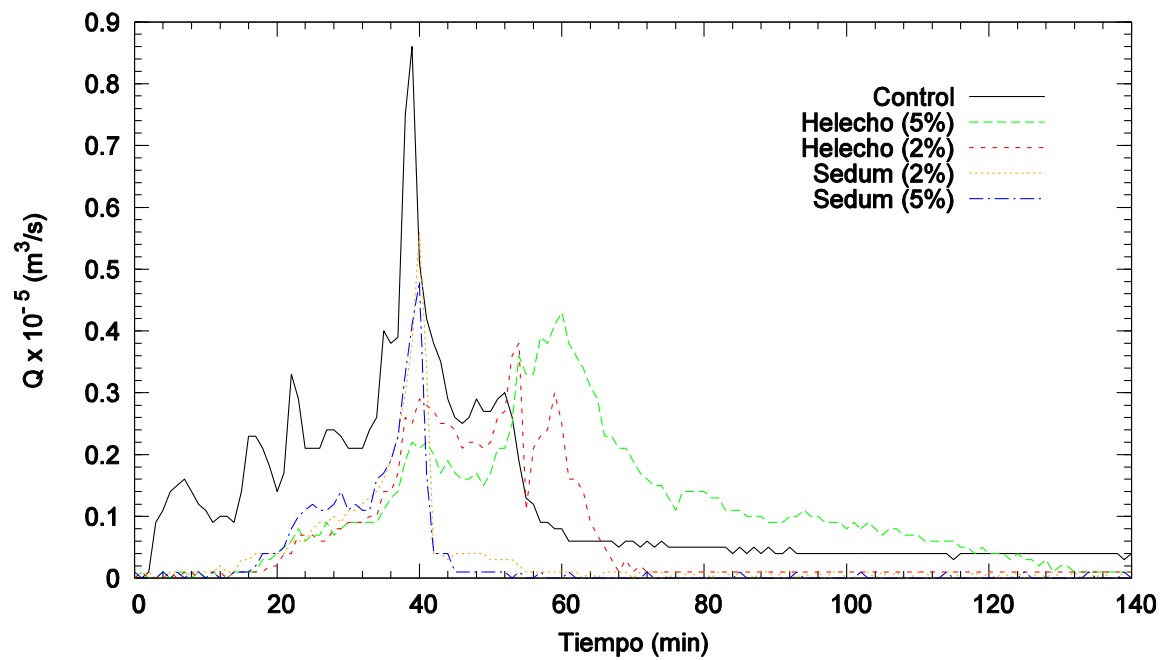
Tormenta 2013-03-17

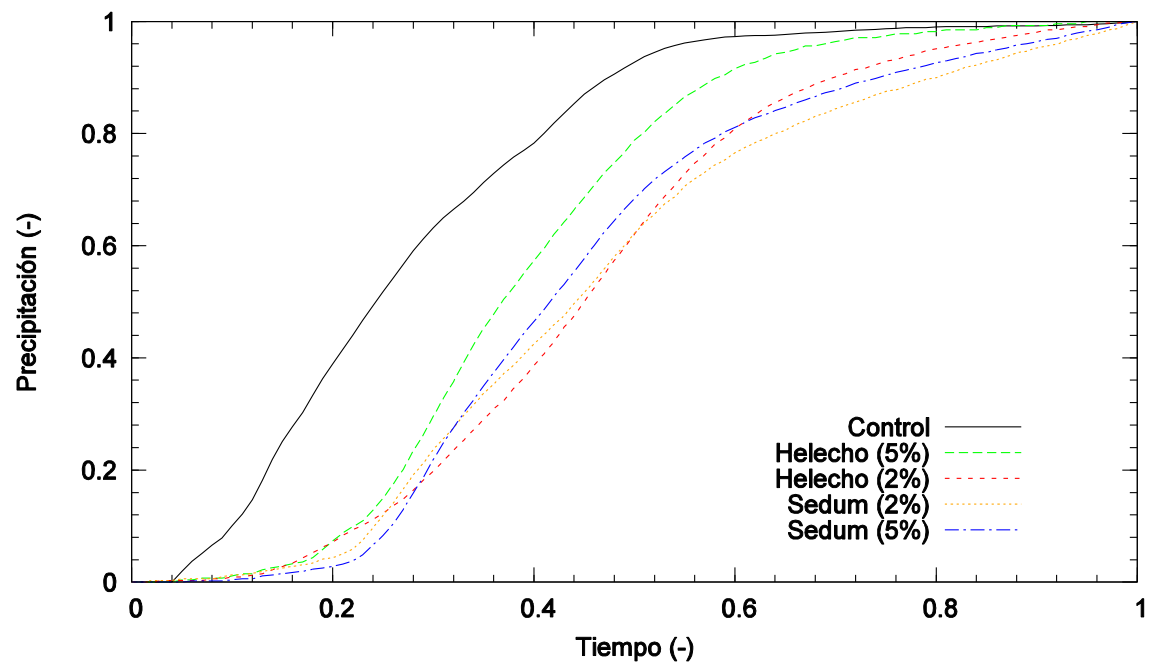
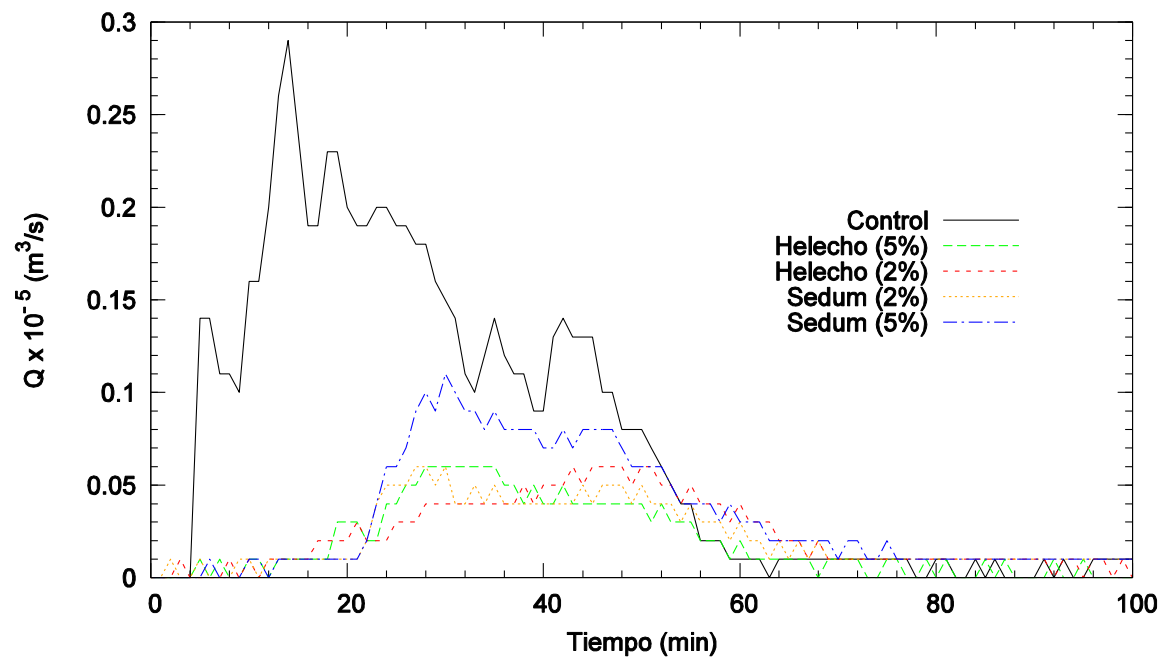
Tormenta 2013-03-17_ii

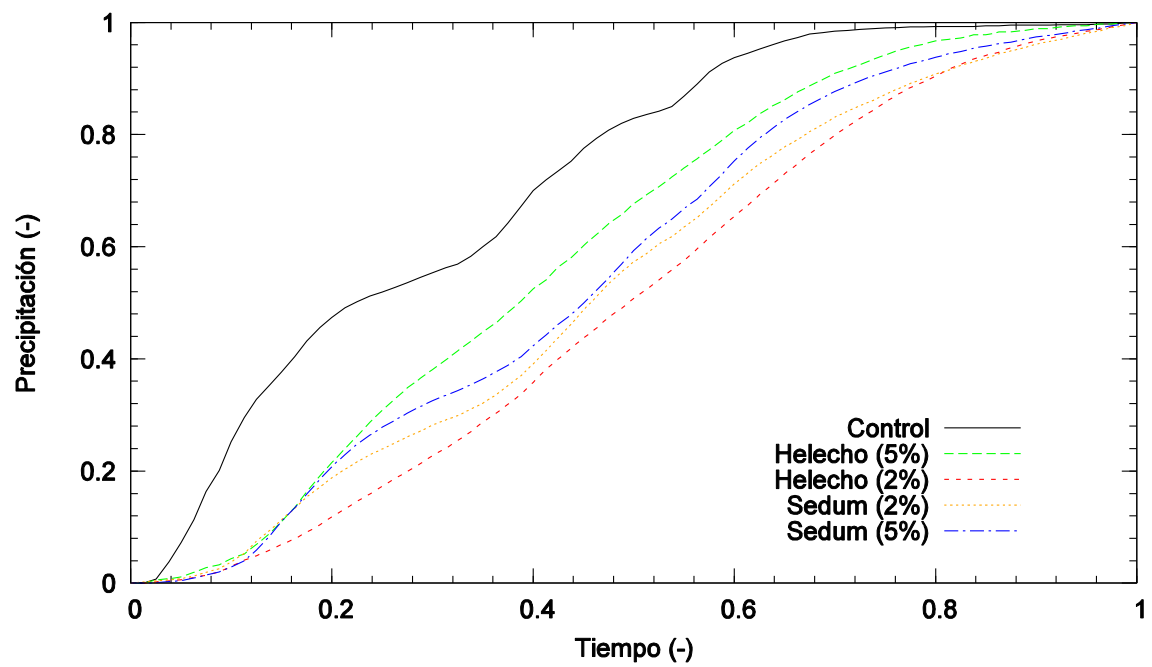
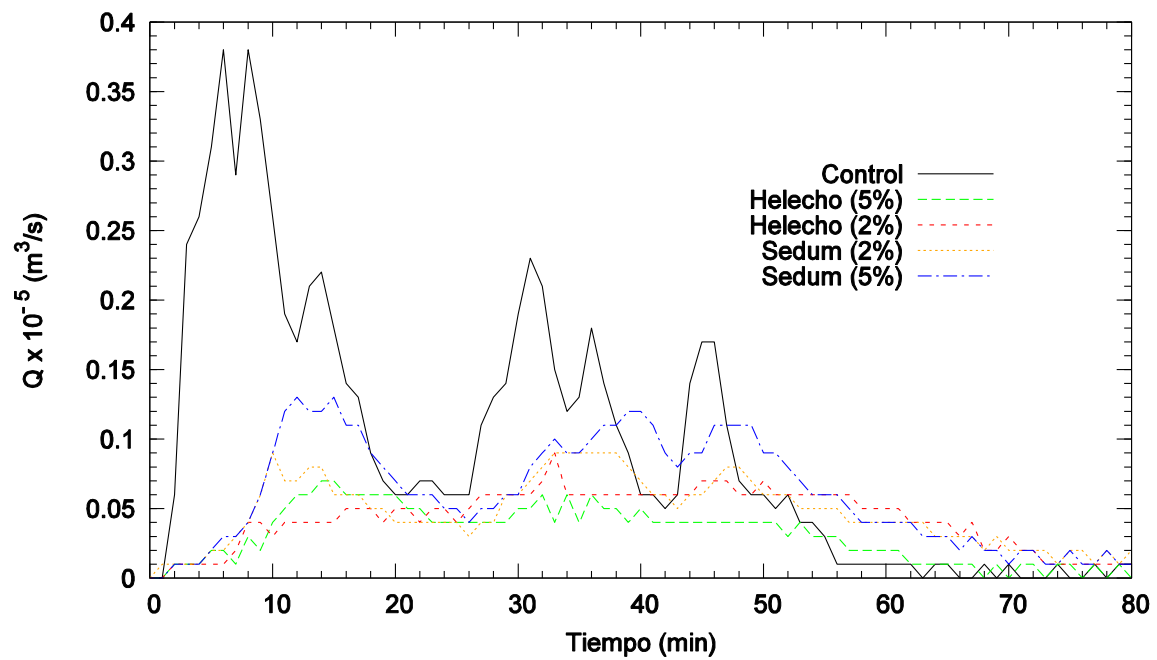
Tormenta 2013-03-28

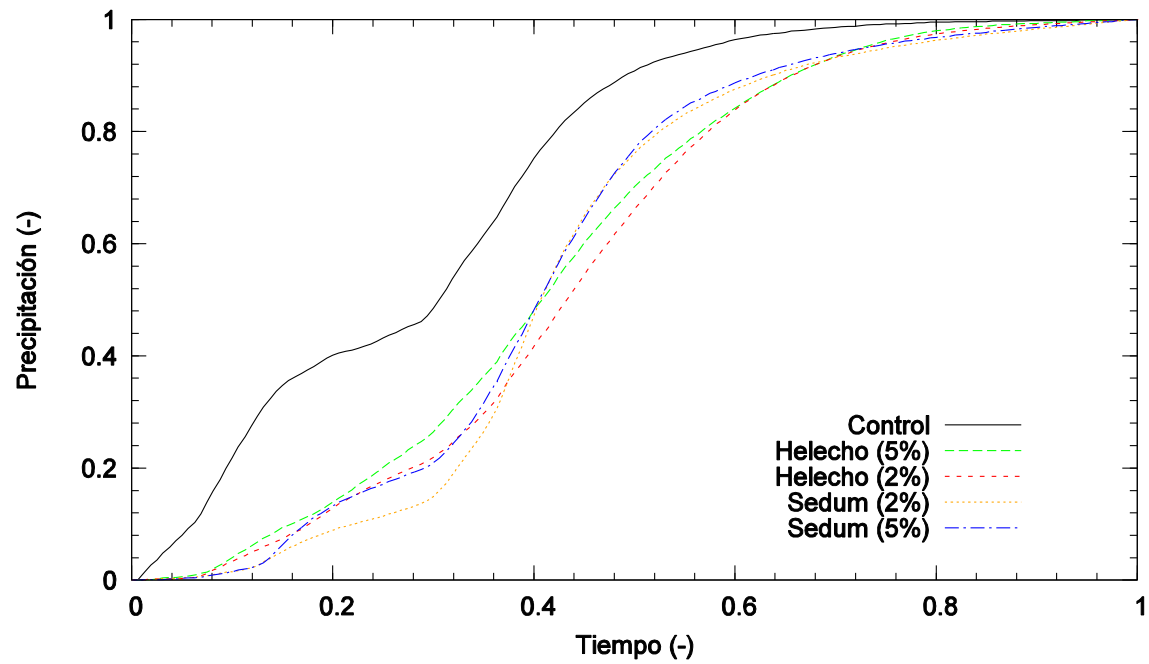
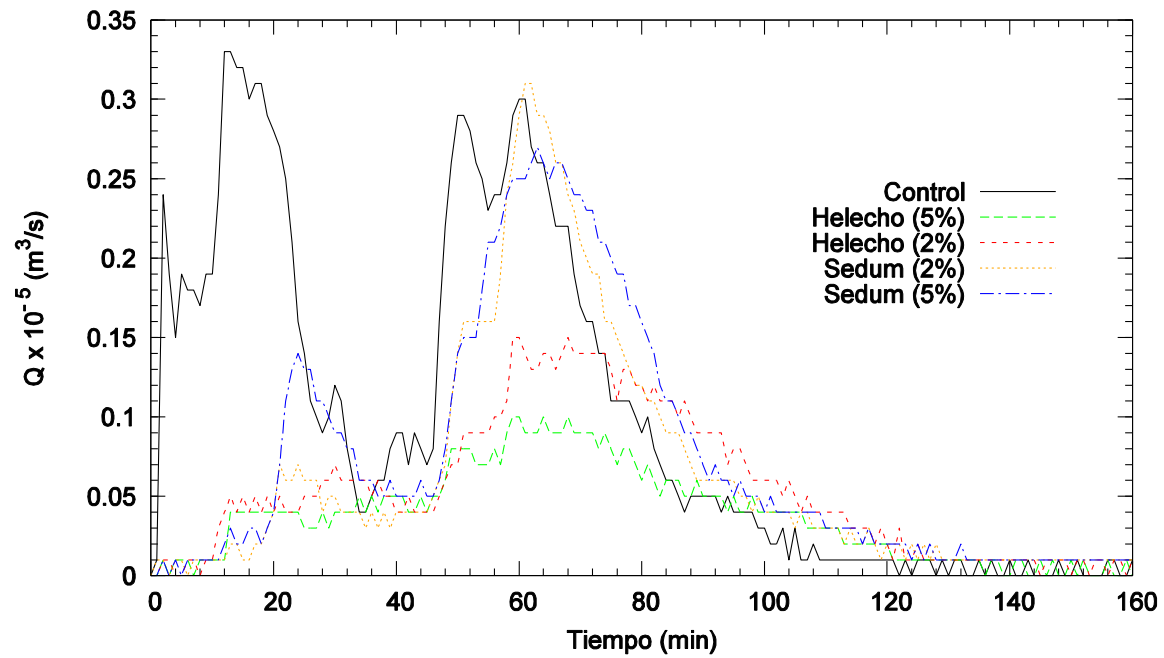
Tormenta 2013-04-05

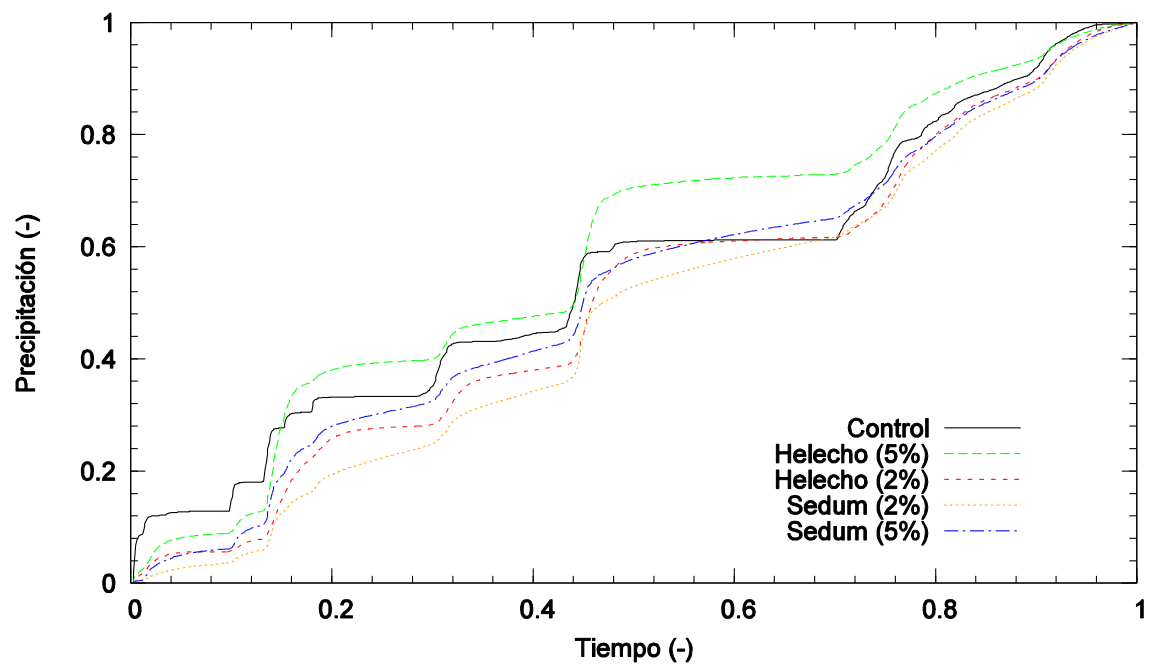
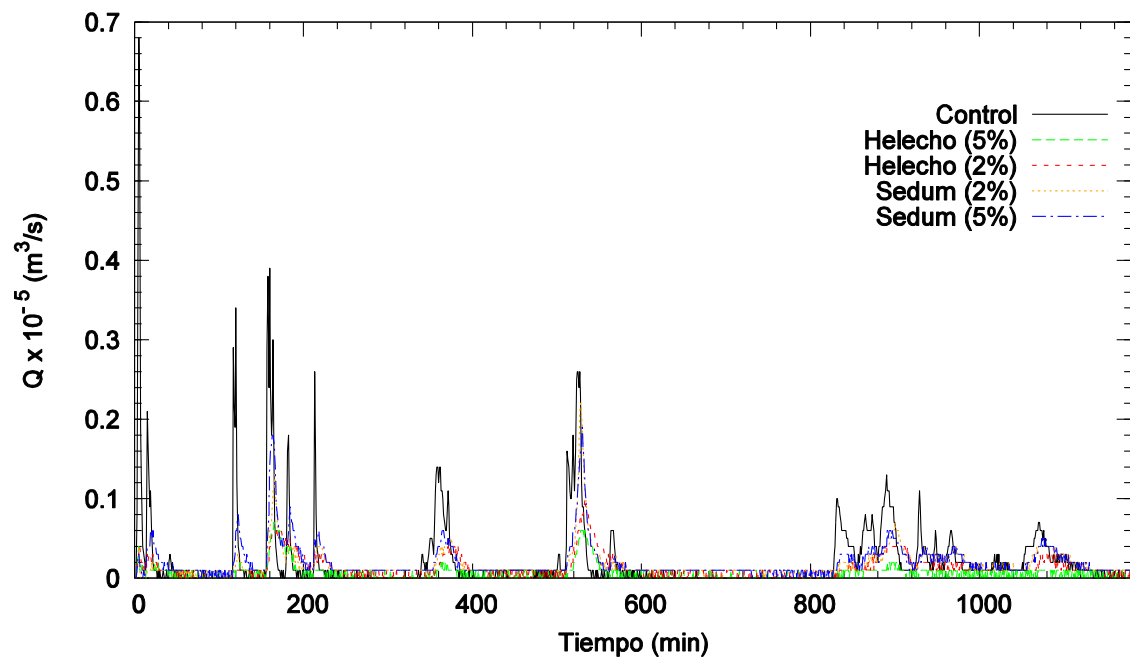
Tormenta 2013-04-19

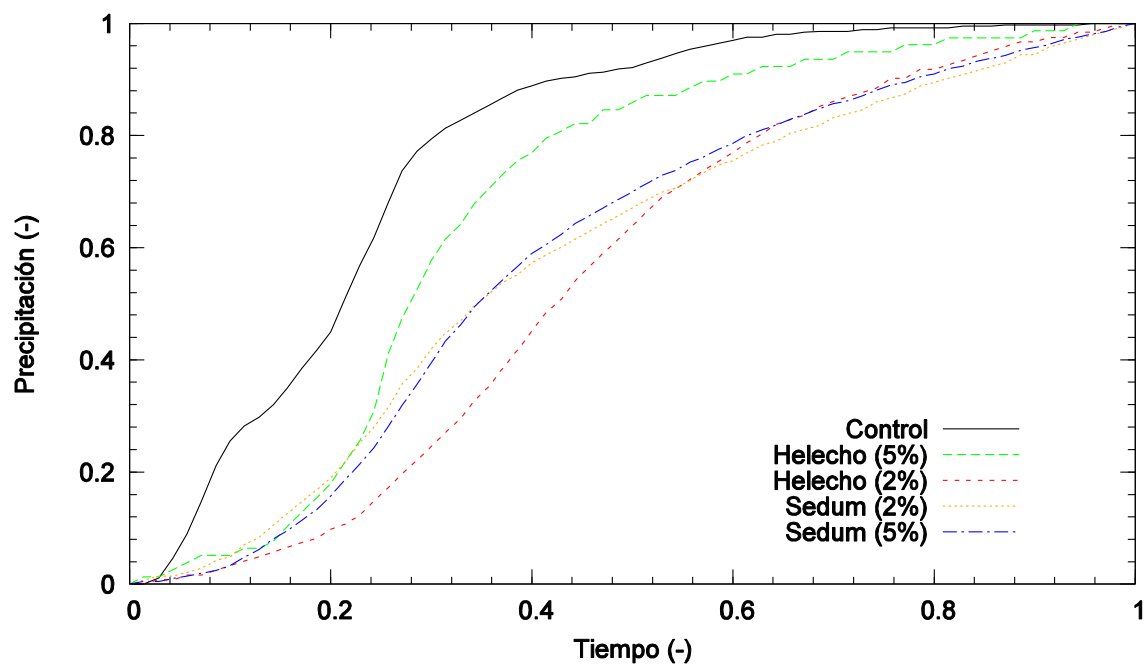
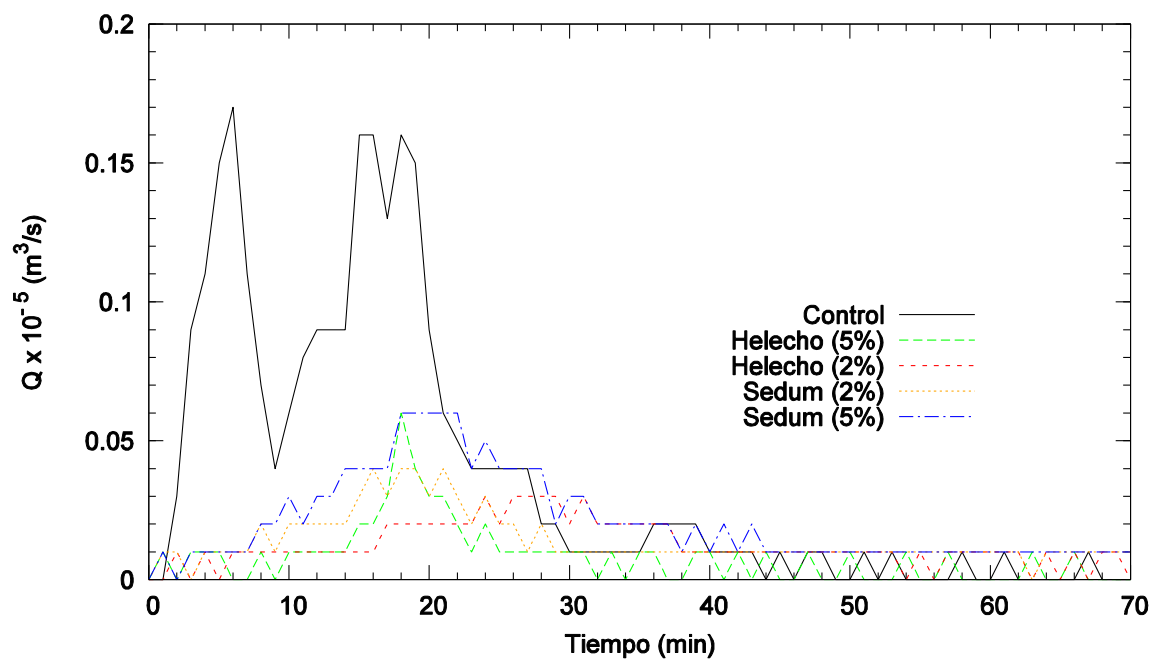
Tormenta 2013-04-20

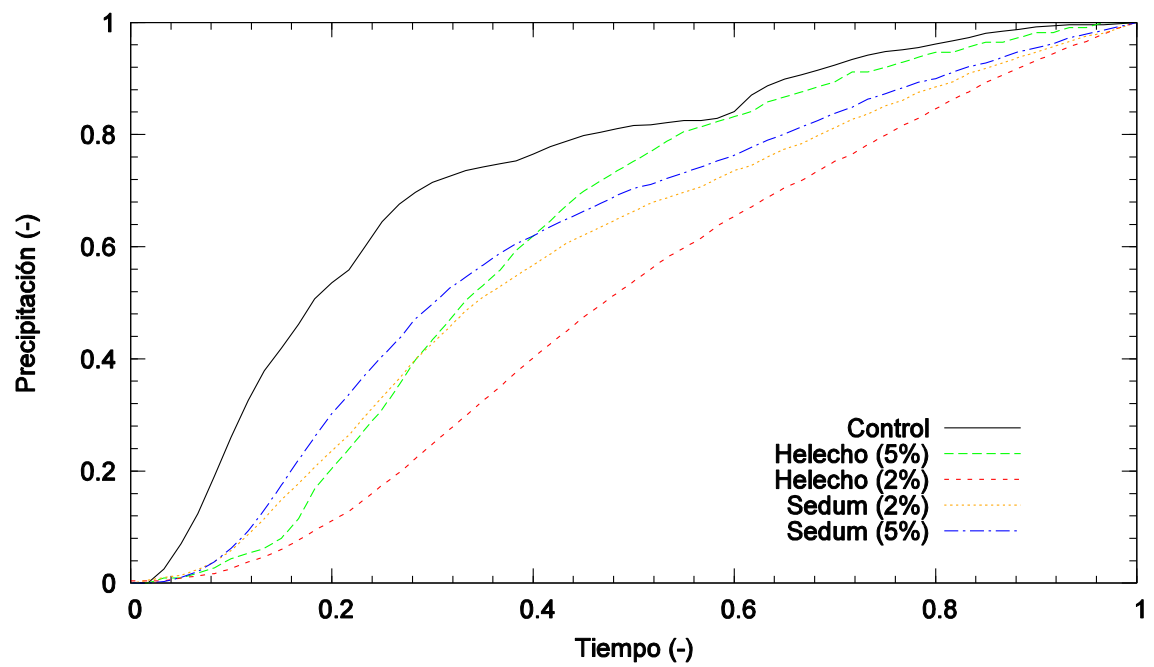
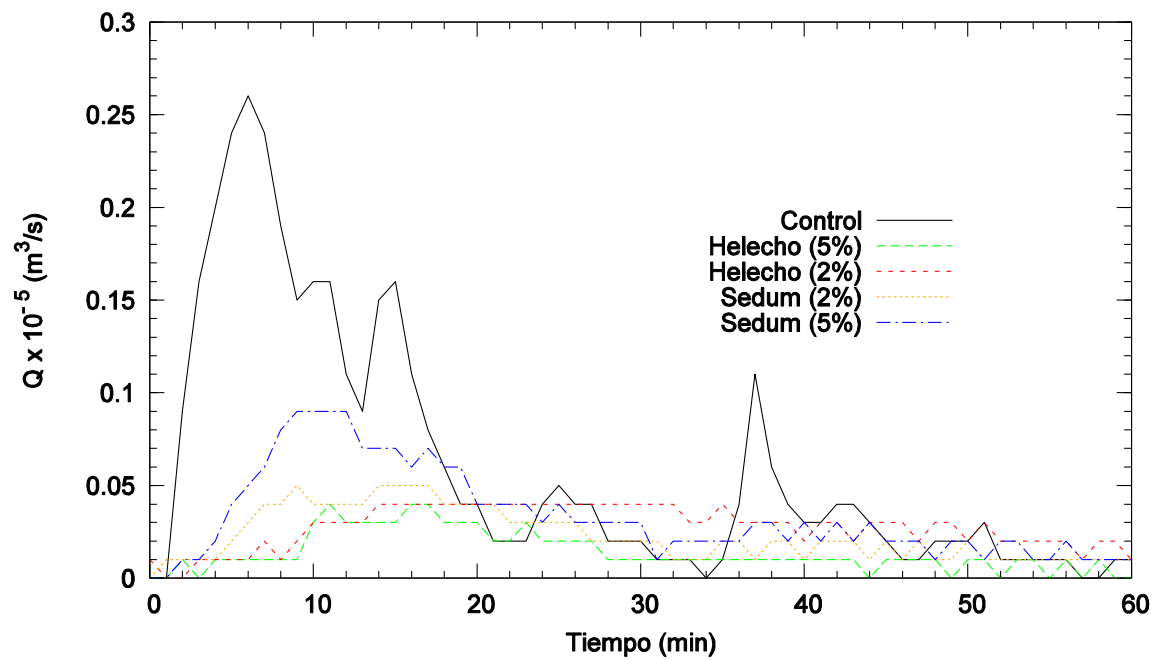
Tormenta 2013-05-02

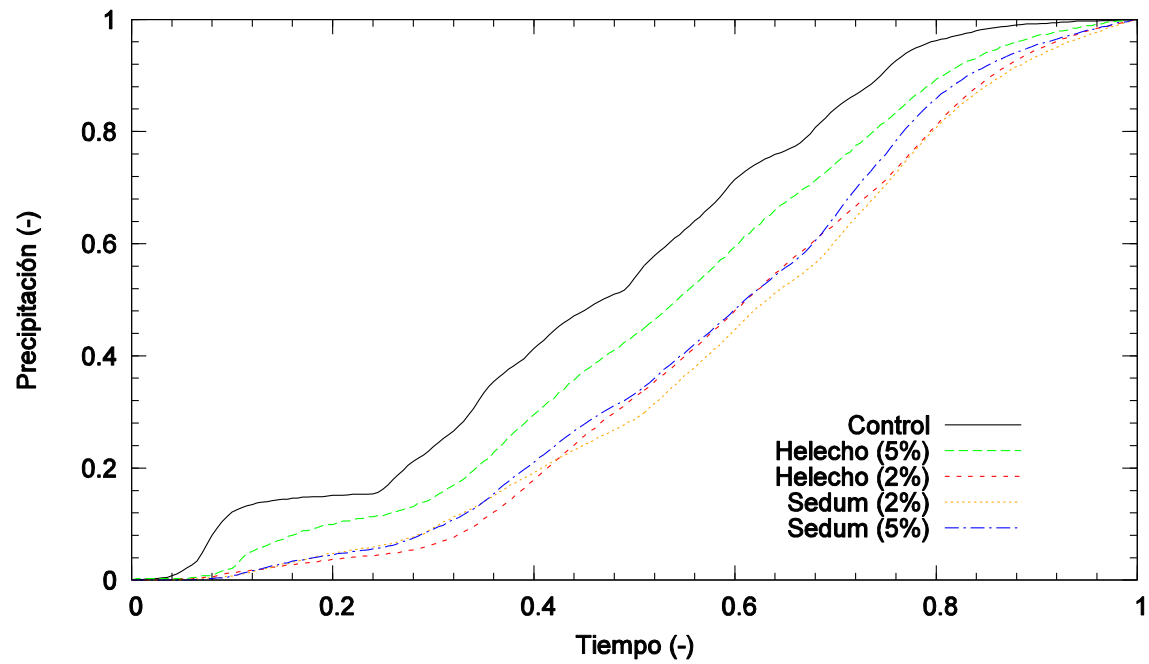
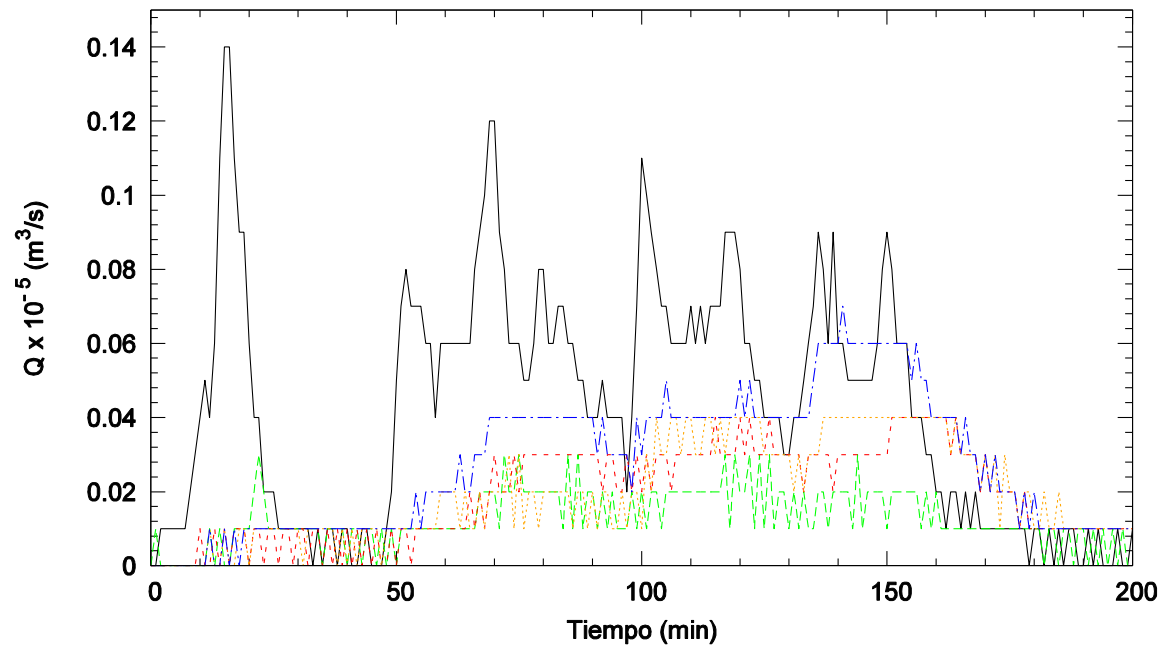
Tormenta 2013-05-03

Tormenta 2013-05-04

Tormenta 2013-05-21

Tormenta 2013-05-22

Tormenta 2013-05-22_iii

Tormenta 2013-05-24

Anexo D. Contenidos de humedad registrados

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
26/03/2012	Antes	Intensivo 5%	8	5	10	8
26/03/2012	Antes	Intensivo 2%	9	9	9	9
26/03/2012	Antes	Extensivo 2%	5	4	4	4
26/03/2012	Antes	Extensivo 5%	4	4	5	4

27/03/2012	Antes	Intensivo 5%	8	8	10	9
27/03/2012	Antes	Intensivo 2%	10	10	10	10
27/03/2012	Antes	Extensivo 2%	6	6	6	6
27/03/2012	Antes	Extensivo 5%	4	4	5	4

27/03/2012	Después	Intensivo 5%	8	8	8	8
27/03/2012	Después	Intensivo 2%	9	10	8	9
27/03/2012	Después	Extensivo 2%	6	7	7	7
27/03/2012	Después	Extensivo 5%	6	5	6	6

28/03/2012	Antes	Intensivo 5%	8	8	8	8
28/03/2012	Antes	Intensivo 2%	8	8	8	8
28/03/2012	Antes	Extensivo 2%	5	6	6	6
28/03/2012	Antes	Extensivo 5%	4	4	4	4

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
--------------	---	-----------------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-----------------

29/03/2012	Antes	Intensivo 5%	7	6	8	7
29/03/2012	Antes	Intensivo 2%	9	9	7	8
29/03/2012	Antes	Extensivo 2%	5	3	4	4
29/03/2012	Antes	Extensivo 5%	3	2	2	2

17/04/2012	Antes	Intensivo 5%	8	6	7	7
17/04/2012	Antes	Intensivo 2%	8	9	8	8
17/04/2012	Antes	Extensivo 2%	5	5	6	5
17/04/2012	Antes	Extensivo 5%	6	4	4	5

23/04/2012	Después	Intensivo 5%	5	6	8	6
23/04/2012	Después	Intensivo 2%	8	7	6	7
23/04/2012	Después	Extensivo 2%	4	3	4	4
23/04/2012	Después	Extensivo 5%	2	2	3	2

27/08/2012	Antes	Intensivo 5%	1	2	4	2
27/08/2012	Antes	Intensivo 2%	1	1	6	3
27/08/2012	Antes	Extensivo 2%	2	2	2	2
27/08/2012	Antes	Extensivo 5%	2	2	3	2

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
27/08/2012	Antes	Intensivo 5%	1	2	4	2
27/08/2012	Antes	Intensivo 2%	1	1	6	3
27/08/2012	Antes	Extensivo 2%	2	2	2	2
27/08/2012	Antes	Extensivo 5%	2	2	3	2

05/10/2012	Antes	Intensivo 5%	1	1	2	1
05/10/2012	Antes	Intensivo 2%	1	1	3	2
05/10/2012	Antes	Extensivo 2%	2	2	2	2
05/10/2012	Antes	Extensivo 5%	2	2	2	2

05/10/2012	Después	Intensivo 5%	3	4	5	4
05/10/2012	Después	Intensivo 2%	4	4	6	5
05/10/2012	Después	Extensivo 2%	2	4	4	3
05/10/2012	Después	Extensivo 5%	2	3	3	3

10/10/2012	Antes	Intensivo 5%	0	0	1	0
10/10/2012	Antes	Intensivo 2%	0	0	2	1
10/10/2012	Antes	Extensivo 2%	0	0	0	0
10/10/2012	Antes	Extensivo 5%	0	0	0	0

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
10/10/2012	Después	Intensivo 5%	5	7	9	7
10/10/2012	Después	Intensivo 2%	4	4	6	5
10/10/2012	Después	Extensivo 2%	3	3	6	4
10/10/2012	Después	Extensivo 5%	2	3	4	3

11/10/2012	Después	Intensivo 5%	4	4	6	5
11/10/2012	Después	Intensivo 2%	6	6	7	6
11/10/2012	Después	Extensivo 2%	3	4	4	4
11/10/2012	Después	Extensivo 5%	3	2	2	2

11/10/2012	Antes	Intensivo 5%	3	5	5	4
11/10/2012	Antes	Intensivo 2%	4	5	6	5
11/10/2012	Antes	Extensivo 2%	4	4	4	4
11/10/2012	Antes	Extensivo 5%	2	3	3	3

11/10/2012	Después	Intensivo 5%	3	5	7	5
11/10/2012	Después	Intensivo 2%	6	6	6	6
11/10/2012	Después	Extensivo 2%	4	4	4	4
11/10/2012	Después	Extensivo 5%	3	3	3	3

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
18/11/2012	Después	Intensivo 5%	6	4	6	5
18/11/2012	Después	Intensivo 2%	6	5	6	6
18/11/2012	Después	Extensivo 2%	2	4	2	3
18/11/2012	Después	Extensivo 5%	2	2	2	2

18/11/2012	Después	Intensivo 5%	4	5	6	5
18/11/2012	Después	Intensivo 2%	6	5	7	6
18/11/2012	Después	Extensivo 2%	3	2	2	2
18/11/2012	Después	Extensivo 5%	2	2	2	2

12/12/2012	Después	Intensivo 5%	2	4	4	3
12/12/2012	Después	Intensivo 2%	4	4	4	4
12/12/2012	Después	Extensivo 2%	2	2	2	2
12/12/2012	Después	Extensivo 5%	2	2	2	2

13/12/2012	Después	Intensivo 5%	4	6	6	5
13/12/2012	Después	Intensivo 2%	7	5	5	6
13/12/2012	Después	Extensivo 2%	4	4	4	4
13/12/2012	Después	Extensivo 5%	4	4	4	4

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
05/02/2013	Después	Intensivo 5%	4	4	5	4
05/02/2013	Después	Intensivo 2%	4	4	4	4
05/02/2013	Después	Extensivo 2%	3	4	4	4
05/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	3	4	3

06/02/2013	Después	Intensivo 5%	5	5	8	6
06/02/2013	Después	Intensivo 2%	6	6	8	7
06/02/2013	Después	Extensivo 2%	4	4	6	5
06/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	6	6	5

07/02/2013	Después	Intensivo 5%	6	6	8	7
07/02/2013	Después	Intensivo 2%	7	6	6	6
07/02/2013	Después	Extensivo 2%	4	4	4	4
07/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	3	4	3

08/02/2013	Después	Intensivo 5%	6	6	7	6
08/02/2013	Después	Intensivo 2%	6	6	6	6
08/02/2013	Después	Extensivo 2%	4	4	4	4
08/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	2	2	2

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
11/02/2013	Después	Intensivo 5%	4	4	7	5
11/02/2013	Después	Intensivo 2%	6	6	8	7
11/02/2013	Después	Extensivo 2%	2	2	4	3
11/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	2	4	3

14/02/2013	Después	Intensivo 5%	4	4	6	5
14/02/2013	Después	Intensivo 2%	6	5	6	6
14/02/2013	Después	Extensivo 2%	2	2	4	3
14/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	2	2	2

15/02/2013	Antes	Intensivo 5%	2	3	4	3
15/02/2013	Antes	Intensivo 2%	2	3	5	3
15/02/2013	Antes	Extensivo 2%	0	0	2	1
15/02/2013	Antes	Extensivo 5%	0	0	0	0

18/02/2013	Antes	Intensivo 5%	0	2	2	1
18/02/2013	Antes	Intensivo 2%	2	2	2	2
18/02/2013	Antes	Extensivo 2%	0	0	0	0
18/02/2013	Antes	Extensivo 5%	0	0	0	0

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
18/02/2013	Después	Intensivo 5%	6	6	8	7
18/02/2013	Después	Intensivo 2%	5	5	9	6
18/02/2013	Después	Extensivo 2%	4	4	5	4
18/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	4	5	4

19/02/2013	Después	Intensivo 5%	6	5	6	6
19/02/2013	Después	Intensivo 2%	6	8	8	7
19/02/2013	Después	Extensivo 2%	2	6	6	5
19/02/2013	Después	Extensivo 5%	2	4	4	3

22/03/2013	Después	Intensivo 5%	7	7	8	7
22/03/2013	Después	Intensivo 2%	10	9	9	9
22/03/2013	Después	Extensivo 2%	8	8	8	8
22/03/2013	Después	Extensivo 5%	6	6	6	6

01/04/2013	Antes	Intensivo 5%	0	0	2	1
01/04/2013	Antes	Intensivo 2%	2	2	2	2
01/04/2013	Antes	Extensivo 2%	0	0	0	0
01/04/2013	Antes	Extensivo 5%	0	0	0	0

Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
18/04/2013	Después	Intensivo 5%	5	6	6	6
18/04/2013	Después	Intensivo 2%	4	6	5	5
18/04/2013	Después	Extensivo 2%	4	3	4	4
18/04/2013	Después	Extensivo 5%	4	4	4	4

21/04/2013	Después	Intensivo 5%	4	4	6	5
21/04/2013	Después	Intensivo 2%	6	6	6	6
21/04/2013	Después	Extensivo 2%	6	6	6	6
21/04/2013	Después	Extensivo 5%	4	4	4	4

22/04/2013	Antes	Intensivo 5%	4	4	6	5
22/04/2013	Antes	Intensivo 2%	4	4	6	5
22/04/2013	Antes	Extensivo 2%	3	4	4	4
22/04/2013	Antes	Extensivo 5%	2	2	4	3

24/04/2013	Antes	Intensivo 5%	5	5	8	6
24/04/2013	Antes	Intensivo 2%	8	6	6	7
24/04/2013	Antes	Extensivo 2%	4	4	4	4
24/04/2013	Antes	Extensivo 5%	4	2	4	3


Fecha	Toma de muestra (antes o después del evento)	Tipo de cubierta	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
24/04/2013	Después	Intensivo 5%	5	5	8	6
24/04/2013	Después	Intensivo 2%	8	6	6	7
24/04/2013	Después	Extensivo 2%	4	4	4	4
24/04/2013	Después	Extensivo 5%	2	4	4	3

25/04/2013	Después	Intensivo 5%	6	6	8	7
25/04/2013	Después	Intensivo 2%	6	6	8	7
25/04/2013	Después	Extensivo 2%	4	4	4	4
25/04/2013	Después	Extensivo 5%	2	2	4	3

25/04/2013	Antes	Intensivo 5%	6	6	6	6
25/04/2013	Antes	Intensivo 2%	8	8	8	8
25/04/2013	Antes	Extensivo 2%	4	4	6	5
25/04/2013	Antes	Extensivo 5%	4	4	4	4

24/05/2013	Antes	Intensivo 5%	4	4	4	4
24/05/2013	Antes	Intensivo 2%	6	6	6	6
24/05/2013	Antes	Extensivo 2%	4	4	4	4
24/05/2013	Antes	Extensivo 5%	2	2	2	2

Anexo E. Calidad del agua


acueducto
 AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

2012-0659

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
2012/12/26

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -ESP

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra
201211190204776	2012/11/19	2012/11/19	10:00	Lub. Hidráulica - Universidad Nacional	PUNTUAL

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Aluminio Total	mg Al/L	0.304	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	0.059	N.A.
Amonio	mg N/L	0.1	Titulométrico SM-4500 NH3 E	0.1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cd B	0.0003	N.A.
Calcio	mg Ca/L	18.6	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ca B	0.01	N.A.
Carbono Inorgánico Total	mg C/L	3.4	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C/L	16.3	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Cobre Total	mg Cu/L	0.016	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cu B	0.013	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	10	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2419	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	51	Fotométrico Merck	1	N.A.
Conductividad a 25°C	µS/cm	148.8	Laboratorio SM-2510 B	0.1	N.A.
DBO 5 Total	mg O2/L	9	S.M. 5210 B - ASTM D888-09	2	N.A.
DOO Total	mg O2/L	65	Refugio Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO3/L	56	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fenoles Totales	mg Fenol/L	0.05	Destilación-Colorimétrico SM-5530 B-D	0.03	N.A.
Fósforo Total	mg P/L	0.08	Colorimétrico AVMF-AA SM-4500 P C-E	0.01	N.A.
Hierro Total	mg Fe/L	0.169	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Fe B	0.006	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	1.510	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mg B	0.006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn/L	0.046	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mn B	0.005	N.A.
Mercurio Total	mg Hg/L	0.00101	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0.00025	N.A.
Molibdeno	mg Mo/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mo B	0.012	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ni B	0.012	N.A.
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	0.4	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0.1	N.A.
pH	unidad de pH	6.9	Electrométrico SM-4500 H+ B	0.1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Pb B	0.012	N.A.
Selenio	mg Se/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Se B	0.013	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	3.34	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Na B	0.07	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/Kg	190	ST y SST Secado a 103 - 105 °C - 2540 B - D	1	N.A.
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	13	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sólidos Totales	mg/L	203	ST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 B	1	N.A.
Sulfatos	mg SO4=L	51	Turbidimétrico SM-4500 SO4= E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	15.80	Nefelométrico SM-2130 B	0.01	N.A.

E. OBSERVACIONES

Nota: Los resultados de los análisis de Acidez, Alcalinidad, Cloruros y Nitratos no se reportan por insuficiencia de la muestra.

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. Ed. 21. 2005

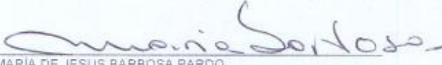
SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WPCF. Ed. 15. 1980

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada: 


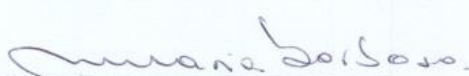
Nombre: MARIA DE JESUS BARBOSA PARDO


Cargo: RESPONSABLE TECNICO - LABORATORIO DE AGUAS

Formulario: F10000001

Dirección General Técnica: Laboratorio de Aguas, Avenida Goltz 24 E 37 - 18, Teléfono: 54473834/5733447016, Acueducto de Bogotá

Página: 1 de 1
E000077-01-01

 acueducto <small>AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ</small>		2012-0659			
LABORATORIO DE AGUAS REPORTE DE RESULTADOS					
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)					
2012/12/26					
B. CLIENTE					
Nombre:	Dirección Ingeniería Especializada				
Dirección:	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP				
C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)					
Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)			
201211190204777	2012/11/19	2012/11/19			
	Hora Toma	Sitio de toma de muestra			
	10:00	Lub. Hidráulica - Universidad Nacional			
		Tipo de Muestra			
		PUNTUAL			
Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)					
D. RESULTADOS					
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	15	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg Al/L	0.423	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	0.059	N.A.
Amonio	mg N/L	0.2	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0.1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cd B	0.0003	N.A.
Calcio	mg Ca/L	12.83	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ca B	0.01	N.A.
Carbono Inorgánico Total	mg C/L	2.5	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C/L	23.3	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Cloruros	mg Cl/L	2	Potenciométrico SM-4500 Cl ⁻ D	1	N.A.
Cobre Total	mg Cu/L	0.018	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cu B	0.013	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	24	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colliert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1299	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colliert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	79	Fotométrico Merck	1	N.A.
Conductividad a 25°C	µS/cm	130.3	Laboratorio SM-2510 B	0.1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ /L	3	S.M. 5210 B - ASTM D688-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ /L	73	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	47	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fenoles Totales	mg Fenol/L	0.08	Destilación-Colorimétrico SM-5530 B-D	0.03	N.A.
Fósforo Total	mg P/L	0.14	Colorimétrico AVMF-AA SM-4500 P C-E	0.01	N.A.
Hierro Total	mg Fe/L	0.238	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Fe B	0.006	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	1.792	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mg B	0.006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn/L	0.057	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mn B	0.005	N.A.
Mercurio Total	mg Hg/L	0.00083	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0.00025	N.A.
Molibdeno	mg Mo/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mo B	0.012	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ni B	0.012	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0.130	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ ⁻ B	0.001	N.A.
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	0.5	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0.1	N.A.
pH	unidad de pH	7.0	Electrométrico SM-4500 H+ B	0.1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	0.013	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Pb B	0.012	N.A.
Selenio	mg Se/L	0.018	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Se B	0.013	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	1.68	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Na B	0.07	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/Kg	111	ST y SST Secado a 103 - 105 °C - 2540 B - D	1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	36	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sólidos Totales	mg/L	147	ST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 B	1	N.A.
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	3	Turbidimétrico SM-4500 SO ₄ = E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	8.23	Nefelométrico SM-2130 B	0.01	N.A.
E. OBSERVACIONES					
<p>Nota: El resultado del análisis de Ácidos no se reporta por insuficiencia de la muestra.</p> <p>SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF, Ed. 21, 2005</p> <p>BM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WPCF, Ed. 15, 1980</p> <p>Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención</p> <p>El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada</p> <p>El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto</p> <p>L: Límite Inferior, L.S: Límite Superior, N.D: No Detectable, N.A: No Aplica</p>					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="width: 40%;"> <p>Firma Autorizada:</p> <p style="text-align: center;">  Nombre: MARÍA DE JESÚS BARBOSA PARDO Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO - LABORATORIO DE AGUAS </p> </div> <div style="width: 50%; text-align: right;"> <p>Procedimiento: 17-01-002-01</p> <p style="font-size: small;">Dirección Técnica, Laboratorio de Aguas, Avenida Guay 24 y 25, 1.ª Etapa, 1017080 (7533) Bogotá</p> <p style="font-size: x-small;">Acueducto de Bogotá</p> </div> </div>					


acueducto
 AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

2012-0559

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
2012/12/26

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -ESP

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra
201211190204778	2012/11/19	2012/11/19	10:10	Lub. Hidráulica - Universidad Nacional	PUNTUAL

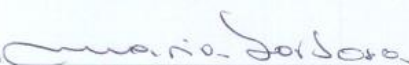
Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS


PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Acidez	mg CaCO ₃ /L	6	Titulométrico SM-2310 B		N.A.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	23	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg Al/L	0.325	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	0.059	N.A.
Amonio	mg N/L	0.4	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0.1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cd B	0.0003	N.A.
Calcio	mg Ca/L	9.77	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ca B	0.01	N.A.
Carbono Inorgánico Total	mg C/L	5.4	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C/L	30.3	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Cloruros	mg Cl/L	4	Potenciométrico SM-4500 Cl ⁻ D	1	N.A.
Cobre Total	mg Cu/L	0.022	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cu B	0.013	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	56	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	970	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223B	1	N.A.
Color aparente	UPC	153	Fotométrico Merck	1	N.A.
Conductividad a 25°C	µS/cm	105.8	Laboratorio SM-2510 B	0.1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ /L	5	S.M. 5210 B - ASTM D888-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ /L	97	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	41	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fenoles Totales	mg Fenol/L	0.17	Destilación-Colorimétrico SM-5530 B-D	0.03	N.A.
Fósforo Total	mg P/L	0.78	Colorimétrico AMVF-AA SM-4500 P C-E	0.01	N.A.
Hierro Total	mg Fe/L	0.281	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Fe B	0.006	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	3.080	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mg B	0.006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn/L	0.044	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mn B	0.005	N.A.
Mercurio Total	mg Hg/L	0.00091	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0.00025	N.A.
Molibdeno	mg Mo/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mo B	0.012	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ni B	0.012	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0.051	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ ⁻ B	0.001	N.A.
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	0.7	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0.1	N.A.
pH	unidad de pH	7.0	Electrométrico SM-4500 H+ B	0.1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Pb B	0.012	N.A.
Selenio	mg Se/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Se B	0.013	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	1.56	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Na B	0.07	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/Kg	149	ST y SST Secado a 103 - 105 °C - 2540 B - D	1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	3	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sólidos Totales	mg/L	152	ST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 B	1	N.A.
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	1	Turbidimétrico SM-4500 SO ₄ = E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	8.50	Nefelométrico SM-2130 B	0.01	N.A.

E. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WEF, Ed. 21, 2005
 SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WPCF, Ed. 15, 1980
 Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.
 El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.
 El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.
 L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada: 
 Nombre: MARIA DE JESUS BARBOSA PARDO
 Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO - LABORATORIO DE AGUAS

Proceso: F01201201201
Dirección: Servicio Técnico, Laboratorio de Aguas, Avenida Saldaña 37 - 18, Teléfono: 34075824/5/6347816, Acueducto de Bogotá
Pág. 2 de 4
0000007-1-0



2012-0659

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
2012/12/26

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -ESP

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra
201211190204779	2012/11/19	2012/11/19	10.00	Lub. Hidráulica - Universidad Nacional	PUNTUAL

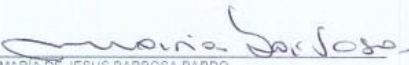
Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Acidez	mg CaCO ₃ /L	84	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	85	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg Al / L	0.443	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	0.059	N.A.
Amonio	mg N/L	352.2	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0.1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd / L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cd B	0.0003	N.A.
Calcio	mg Ca / L	281.13	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ca B	0.01	N.A.
Carbono Inorgánico Total	mg C / L	6.2	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C / L	267.9	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Cloruros	mg Cl- / L	49	Potenciométrico SM-4500 Cl ⁻ D	1	N.A.
Cobre Total	mg Cu / L	0.063	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cu B	0.013	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1203	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1732900	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	381	Fotométrico Merck	1	N.A.
Conductividad a 25°C	µS/cm	4850.0	Laboratorio SM-2510 B	0.1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ / L	51	S.M. 5210 B - ASTM D868-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ / L	910	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	1173	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fenoles Totales	mg Fenol/L	0.38	Destilación-Colonimétrico SM-5530 B-D	0.03	N.A.
Fósforo Total	mg P / L	1.01	Colorimétrico AVMF-AA SM-4500 P C-E	0.01	N.A.
Hierro Total	mg Fe / L	0.818	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Fe B	0.006	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	51.019	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mg B	0.006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn / L	1.688	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mn B	0.005	N.A.
Mercurio Total	mg Hg / L	0.00921	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0.00025	N.A.
Molibdeno	mg Mo/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mo B	0.012	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	0.094	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ni B	0.012	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0.703	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ ⁻ B	0.001	N.A.
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	407.0	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0.1	N.A.
pH	unidad de pH	6.4	Electrométrico SM-4500 H+ B	0.1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Pb B	0.012	N.A.
Selenio	mg Se/L	N.D.	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Se B	0.013	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	32.56	Espectroscopia Emisión Plasma ICP SM-3120 Na B	0.07	N.A.
Sólidos Disueltos Totales Diferencia	mg/Kg	4330	ST y SST Secado a 103 - 105 °C - 2540 B - D	1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	69	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sólidos Totales	mg/L	4389	ST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 B	1	N.A.
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	1785	Turbidimétrico SM-4500 SO ₄ = E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	39.80	Nefelométrico SM-2130 B	0.01	N.A.

E. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WEF, Ed. 21, 2005.
 SW: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WPCF, Ed. 15, 1990.
 Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.
 El reporte de resultados solo es válido con la firma autorizada.
 El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total solo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.
 L.I. = Límite Inferior, L.S. = Límite Superior, N.D. = No Detectable, N.A. = No Aplica

Firma Autorizada: 
 Nombre: MARIA DE JESÚS BARBOSA PARDO
 Cargo: RESPONSABLE TECNICO - LABORATORIO DE AGUAS

Proyecto 012306001-01
Oficina Servicio Técnico Laboratorio de Aguas, Avenida Calle 24# 27 - 10 Teléfono 3447160/3447616
Acueducto de Bogotá

Pág. 4 de 4
8/8/2012 11:31

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/04/08

B. CLIENTE

 Nombre: Dirección de Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201303190201113	2013/03/18	13:00	2013/03/19	2013/03/19	Techos verdes - Universidad Nacional Punto 1	PUNTUAL	AGUA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
pH	unidad de pH	41,0	Electrométrico SM-4500 H+ B	0,1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	41	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:						
PARÁMETRO	pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método	Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades	Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	ml/L	mg O2/L
Límite de Detección	0,10	1	0,1	0,1	0,5	
Fecha	Hora					

F. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WEF. Ed 21. 2005

SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WPCF. Ed 15. 1980

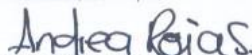
Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I. > Límite Inferior, L.S. > Límite Superior, N.D. > No Detectable, N.A. > No Aplica

Firma Autorizada:



Nombre: ANDREA ALEXANDRA ROJAS JIMENEZ

Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO FÍSICO QUÍMICO (E) - LABORATORIO DE AGUAS

 PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO
 FIN DEL DOCUMENTO



2013-0133

**LABORATORIO DE AGUAS
 REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
 2013/04/08
B. CLIENTE
 Nombre: Dirección de Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP
C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201303190201114	2013/03/18	13:00	2013/03/19	2013/03/19	Techos verdes - Universidad Nacional Biosolidos Punto 2	PUNTUAL	AGUA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
pH	unidad de pH	5.9	Electrométrico SM-4500 H+ B	0.1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	140	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:						
PARÁMETRO	pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método	Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades	Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	ml/L	mg O ₂ /L
Límite de Detección	0.10	1	0.1	0.1	0.5	
Fecha	Hora					

E. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF. Ed 21. 2005.

SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed 19. 1980.

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada:

Nombre: ANDREA ALEXANDRA ROJAS JIMENEZ

Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO FÍSICO QUÍMICO (E) - LABORATORIO DE AGUAS

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

FIN DEL DOCUMENTO

Formulario 11030001-01

 (Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.
 Acueducto de Bogotá

 Pág. 1 de 1
 00000011-01



2013-0133

**LABORATORIO DE AGUAS
 REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/04/08

B. CLIENTE

Nombre: Dirección de Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201303190201115	2013/03/18	13:00	2013/03/19	2013/03/19	Techos verdes - Universidad Nacional Sedous Punto 3	PUNTUAL	AGUA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
pH	unidad de pH	6,8	Electrométrico SM-4500 H+ B	0,1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	47	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:						
PARÁMETRO	pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método	Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades	Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	ml/L	mg O2/L
Límite de Detección	0,10	1	0,1	0,1	0,5	
Fecha	Hora					

E. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF. Ed. 21. 2005

SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1960

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada:

Nombre: ANDREA ALEXANDRA ROJAS JIMÉNEZ

Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO FÍSICO QUÍMICO (E) - LABORATORIO DE AGUAS

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

FIN DEL DOCUMENTO

Dirección General de Ingeniería y Mantenimiento de Aguas - Avenida Calle 14 # 14-11, Bogotá D.C. Teléfono: (571) 2605000 Ext. 2340/2341

Acueducto de Bogotá

Pág. 1 de 1
2013/04/08



2013-0133

**LABORATORIO DE AGUAS
 REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
 2013/04/08
B. CLIENTE
 Nombre: Dirección de Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP
C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201303190201116	2013/03/18	13:00	2013/03/19	2013/03/19	Techos verdes - Universidad Nacional Helechos Punto 4	PUNTUAL	AGUA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
pH	unidad de pH	6,9	Electrométrico SM-4500 H+ B	0,1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	63	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:						
PARÁMETRO	pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método	Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades	Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	ml/L	mg O2/L
Límite de Detección	0,10	1	0,1	0,1	0,5	
Fecha	Hora					

E. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WEF. Ed. 21. 2005.

SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1980.

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados solo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total solo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada:

Nombre: ANDREA ALEXANDRA ROJAS JUÁREZ

Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO FÍSICO QUÍMICO (E) - LABORATORIO DE AGUAS

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

FIN DEL DOCUMENTO

Formato F1000001-01

Documento Técnico Reporte de Resultados de Aguas - Versión 01 del 12/12/12. 11. 1488888 04473861047312473110

Pág. 1 de 1
11/04/2013 11:40



2013-0133

LABORATORIO DE AGUAS
 REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/04/08

B. CLIENTE

Nombre: Laboratorio Microbiológico de Barranquilla
Dirección: Vía 40 No. 76 - 206 Barranquilla

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201303190201117	2013/03/18	13:00	2013/03/19	2013/03/19	Techos verdes - Universidad Nacional Granizos Punto 5	PUNTUAL	AGUA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
pH	unidad de pH	6,9	Electrométrico SM-4500 H+ B	0,1	N.A.
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	68	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:							
PARAMETRO		pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método		Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades		Unidad de pH	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	mL/L	mg O ₂ /L
Limite de Detección		0.10	1	0.1	0.1	0.5	
Fecha	Hora						

E. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF, Ed. 21, 2005

SM[®] Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA/AWWA/WPCF, Ed. 15, 1990

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I.=Limite Inferior, L.S.=Limite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada:

Nombre: ANDREA ALEXANDRA ROJAS JIMÉNEZ


Cargo: RESPONSABLE TECNICO FISICO QUIMICO (E) - LABORATORIO DE AGUAS

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

FIN DEL DOCUMENTO

Desarrollo Agrario Tecnológico, Laboratorio de Fajitas, Avenida Calle 24-A 32—P.O. Box 4000, 304709704072133447333
desarrollo@desarrollo.com

Page 1 of 1
JEL: D01, D11, D21, D22, D23, D24, D25, D26, D27, D28, D29, D30, D31, D32, D33, D34, D35, D36, D37, D38, D39, D40, D41, D42, D43, D44, D45, D46, D47, D48, D49, D50, D51, D52, D53, D54, D55, D56, D57, D58, D59, D60, D61, D62, D63, D64, D65, D66, D67, D68, D69, D70, D71, D72, D73, D74, D75, D76, D77, D78, D79, D80, D81, D82, D83, D84, D85, D86, D87, D88, D89, D90, D91, D92, D93, D94, D95, D96, D97, D98, D99



acueducto
AGUA Y ALCANTARILLO DE BOGOTÁ

2013-0046

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205456	2012/12/14	16:19	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertas Verdes - Cub - Verde - Biosólido	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Acidez	mg CaCO ₃ /L	56	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	36	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg/L	0,65	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Al D	0,03	N.A.
Amonio	mg N/L	270,8	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0,1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd / L	0,004	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Cd B	0,001	N.A.
Calcio	mg Ca / L	394,564	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Ca D	0,002	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C / L	202,0	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0,5	N.A.
Cloruros	mg Cl / L	23	Potenciométrico SM-4500 Cl D	1	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	23	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	410600	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	184	Fotométrico Merck	1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ / L	39	S.M. 5210 B - ASTM D888-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ / L	644	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	1021	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fósforo Total	mg P / L	3,96	Colorimétrico AV/MF-AA SM-4500 P C-E	0,01	N.A.
Hierro Total	mg Fe / L	0,844	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Fe B	0,003	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	38,6836	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mg B	0,0006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn / L	1,1101	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mn B	0,0012	N.A.
Mercurio Total	mg Hg / L	N.D.	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0,00025	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	0,053	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Ni B	0,004	N.A.
Nitrosos	mg NO ₃ -N/L	12,51	Acido Cromotrópico SM* 418 D	0,01	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0,256	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ B	0,001	N.A.

Formato: R1010201-01

Dirección: Avenida Francisco de Paula, 1547-95 Bogotá, D.C. 110131-95
Acueducto de Bogotá

Página 1 de 1
11/02/2013 10:40



2013-0040

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205456	2012/12/14	16:19	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertas Verdes - Cub - Verde - Biosólido	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	285,0	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0,1	N.A.
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	4,0	Modificación de Azida SM-4500-O C	0,1	N.A.
pH	unidad de pH	7,0	Electrométrico SM-4500 H+ B	0,1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Pb B	0,008	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	30,693	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Na B	0,001	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2909	SD Secado a 180°C SM-2540 C	1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	142	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	1628	Turbidimétrico SM-4500 SO ₄ = E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	65,40	Nefelométrico SM-2130 B	0,01	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:						
PARÁMETRO	pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método	Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades	Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	m/L	mg O ₂ /L
Límite de Detección	0,10	1	0,1	0,1	0,5	
Fecha	Hora					



2013-0040

**LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205456	2012/12/14	16:19	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertas Verdes - Cub - Verde - Biosóido	PUNTUAL	AGUA CRUDA

F. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF. Ed. 21. 2005

SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1990

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada:

Nombre: MARÍA DE JESÚS BARBOSA PARDO
Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO - LABORATORIO DE AGUAS

Firma Autorizada:

Nombre: CAROLINA GÓMEZ CASTILLO
Área: MICROBIOLOGÍA
Cargo: PROFESIONAL

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO
FIN DEL DOCUMENTO



2013-0040

**LABORATORIO DE AGUAS
 REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp


C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205457	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Granizadas	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Acidez	mg CaCO ₃ /L	9	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	12	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg/L	0,95	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Al D	0,03	N.A.
Amonio	mg N/L	0,6	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0,1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd / L	0,004	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Cd B	0,001	N.A.
Calcio	mg Ca / L	46,351	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Ca D	0,002	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C / L	14,9	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0,5	N.A.
Cloruros	mg Cl- / L	N.D.	Potenciométrico SM-4500 Cl ⁻ D	1	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	10	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2143	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	52	Fotométrico Merck	1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ / L	7	S.M. 5210 B - ASTM D888-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ / L	52	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	74	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fósforo Total	mg P / L	7,87	Colorimétrico AVMF-AA SM-4500 P C-E	0,01	N.A.
Hierro Total	mg Fe / L	0,558	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Fe B	0,003	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	3,3807	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mg B	0,0006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn / L	0,1278	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mn B	0,0012	N.A.
Mercurio Total	mg Hg / L	N.D.	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0,00025	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Ni B	0,004	N.A.
Nitratos	mg NO ₃ -N/L	1,14	Acido Cromotrópico SM ⁺ -418 D	0,01	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0,104	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ ⁻ B	0,001	N.A.



acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

2013-0040

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205457	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Granizadas	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	3,5	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0,1	N.A.
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	6,3	Modificación de Azida SM-4500-O C	0,1	N.A.
pH	unidad de pH	7,3	Electrométrico SM-4500 H+ B	0,1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Pb B	0,008	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	8,223	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Na B	0,001	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	200	SD Secado a 180 °C SM-2540 C	1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	110	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	58	Turbidimétrico SM-4500 SO ₄ = E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	65,00	Nefelométrico SM-2130 B	0,01	N.A.


E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:		pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método		Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades		Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	m/L	mg O ₂ /L
Límite de Detección		0,10	1	0,1	0,1	0,5	
Fecha	Hora						

Formulario F-1009/00-01

Dirección Servicios Técnicos, Laboratorio de Aguas, Avenida Calle 14 # 31 - 10 Edificio 1407100 1407101 1407103
 Acueducto de Bogotá

Pág 7 de 7
(31/03/2013 12:48)


ACUEDUCTO
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

2013-0040

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
2013/02/01

B. CLIENTE

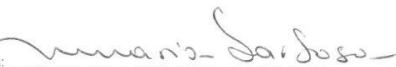
Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp


C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205457	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Granizadas	PUNTUAL	AGUA CRUDA

F. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF. Ed. 21. 2005.
SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1980.
Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.
El reporte de resultados solo es válido con la firma autorizada.
El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total solo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.
L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada: 
Nombre: MARTA DE JESUS BARBOSA PARDO
Cargo: RESPONSABLE TECNICO - LABORATORIO DE AGUAS


Firma Autorizada: 
Nombre: CAROLINA GOMEZ CASTILLO
Área: MICROBIOLOGIA
Cargo: PROFESIONAL

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO
FIN DEL DOCUMENTO

Formulario F100092-01-01

Entidad: Suministro de Aguas y Alcantarillado de Bogotá - Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
Dirección: Avenida Calle 24 # 37 - 15 Edificio 1047196754715133447015
Acueducto de Bogotá

Pág. 4 de 5
02/02/2013 10:44



2013-0040

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
 2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205458	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Control	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Acidez	mg CaCO ₃ /L	6	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	9	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg/L	1,37	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Al D	0,03	N.A.
Amonio	mg N/L	1,0	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0,1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd / L	0,003	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Cd B	0,001	N.A.
Calcio	mg Ca / L	16,617	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Ca D	0,002	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C / L	4,2	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0,5	N.A.
Cloruros	mg Cl- / L	N.D.	Potenciométrico SM-4500 Cl ⁻ D	1	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	5	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coliert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2419	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coliert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	14	Fotométrico Merck	1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ / L	7	S.M. 5210 B - ASTM D888-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ / L	99	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	13	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fósforo Total	mg P / L	2,20	Colorimétrico AVMF-AA SM-4500 P C-E	0,01	N.A.
Hierro Total	mg Fe / L	1,594	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Fe B	0,003	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	0,9777	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mg B	0,0006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn / L	0,4914	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mn B	0,0012	N.A.
Mercurio Total	mg Hg / L	N.D.	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0,00025	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Ni B	0,004	N.A.
Nitratos	mg NO ₃ -N/L	0,61	Acido Cromotrópico SM-418 D	0,01	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0,069	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ ⁻ B	0,001	N.A.

Formato: F1000501-01

Unidad de Servicios Técnicos, Laboratorio de Aguas, Avenida Calle 24 # 37 - 10 Edificio 1047100104701334/010
Acueducto de Bogotá

Pág 1 de 1
12/02/2013 17:09



A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205458	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Control	PUNTUAL	AGUA CRUDA


Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	3,1	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0,1	N.A.
Oxígeno Disuelto	mg O2 /L	6,0	Modificación de Azida SM-4500-O C	0,1	N.A.
pH	unidad de pH	7,1	Electrométrico SM-4500 H+ B	0,1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	0,016	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Pb B	0,008	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	0,345	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Na B	0,001	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	63	SD Secado a 180 °C SM-2540 C	1	N.A.
Sólidos Suspensidos Totales	mg/L	258	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sulfatos	mg SO4= /L	11	Turbidimétrico SM-4500 SO4= E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	95,46	Nefelométrico SM-2130 B	0,01	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:							
PARÁMETRO		pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método		Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambientes	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades		Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	mL	mg O ₂ /L
Límite de Detección		0.10	1	0.1	0.1	0.5	
Fecha	Hora						



acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

2013-0040

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
 2013/02/01


B. CLIENTE
 Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)


Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205458	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Control	PUNTUAL	AGUA CRUDA

F. OBSERVACIONES

SM Standard Methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF Ed. 21, 2005
 SM* Standard Methods for the examination of Water and Wastewater APHA/WWA, WPCF Ed. 15, 1980
 Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.
 El reporte de resultados solo es válido con la firma autorizada.
 El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total solo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.
 L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada: 

Nombre: MARIA DE JESUS BARBOSA PARDO
 Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO - LABORATORIO DE AGUAS

Firma Autorizada: 

Nombre: CAROLINA GOMEZ CASTILLO
 Área: MICROBIOLOGIA
 Cargo: PROFESIONAL

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

FIN DEL DOCUMENTO

Formulario F-0000001-01

Caracterización General de Aguas, Laboratorio de Aguas, Avenida Calle 104 # 37 - 15 Fontaines, 06011500 (06011500) 03447010

Page 3 of 3
20130217-01



2013-0040

**LABORATORIO DE AGUAS
 REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205459	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Helechos	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Acidez	mg CaCO ₃ /L	6	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	16	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg/L	1.48	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Al D	0.03	N.A.
Amonio	mg N/L	0.9	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0.1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd / L	0.004	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Cd B	0.001	N.A.
Calcio	mg Ca / L	20,955	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Ca D	0.002	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C / L	18.7	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0.5	N.A.
Cloruros	mg Cl- / L	N.D.	Potenciométrico SM-4500 Cl ⁻ D	1	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	25	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	261	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	76	Fotométrico Merck	1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ / L	7	S.M. 5210 B - ASTM D888-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ / L	89	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	47	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fósforo Total	mg P / L	1.02	Colorimétrico AVMF-AA SM-4500 P C-E	0.01	N.A.
Hierro Total	mg Fe / L	0.983	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Fe B	0.003	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	1.8449	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mg B	0.0006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn / L	0.2352	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mn B	0.0012	N.A.
Mercurio Total	mg Hg / L	N.D.	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	0.00025	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Ni B	0.004	N.A.
Nitratos	mg NO ₃ -N/L	0.46	Acido Cromotrópico SM ⁺ -418 D	0.01	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0.138	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ ⁻ B	0.001	N.A.



LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS

2013-0040

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205459	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Helechos	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	3.5	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0.1	N.A.
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	6.3	Modificación de Azida SM-4500-O C	0.1	N.A.
pH	unidad de pH	7.1	Electrométrico SM-4500 H+ B	0.1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Pb B	0.008	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	3,347	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Na B	0.001	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	41	SD Secado a 180°C SM-2540 C	1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	124	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	11	Turbidimétrico SM-4500 SO ₄ = E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	61.60	Nefelométrico SM-2130 B	0.01	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:						
PARÁMETRO	pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método	Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades	Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	mL	mg O ₂ /L
Límite de Detección	0.10	1	0.1	0.1	0.5	
Fecha	Hora					



2013-0040

LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOSA. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)
2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205459	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Helechos	PUNTUAL	AGUA CRUDA

F. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WEF. Ed. 21. 2005

SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater: APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1980

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados solo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total solo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I. = Límite Inferior, L.S. = Límite Superior, N.D. = No Detectable, N.A. = No Aplica

Firma Autorizada:

Nombre: MARIA DE JESUS BARBOSA PARDO
Cargo: RESPONSABLE TECNICO - LABORATORIO DE AGUAS

Firma Autorizada:

Nombre: CAROLINA GOMEZ CASTILLO
Área: MICROBIOLOGÍA
Cargo: PROFESIONALPROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO
FIN DEL DOCUMENTO



2013-0040

**LABORATORIO DE AGUAS
 REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
 Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205460	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Sedums	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Acidez	mg CaCO ₃ /L	5	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	12	Titulométrico SM-2310 B	1	N.A.
Aluminio Total	mg/L	0,58	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Al D	0,03	N.A.
Amonio	mg N/L	1	Titulométrico SM-4500 NH ₃ E	0,1	N.A.
Cadmio Total	mg Cd / L	0,004	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Cd B	0,001	N.A.
Calcio	mg Ca / L	20,006	AA de Llama Directa N ₂ O-Acetileno SM-3111 Ca D	0,002	N.A.
Carbono Orgánico Total	mg C / L	26,5	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	0,5	N.A.
Cloruros	mg Cl- / L	N.D.	Potenciométrico SM-4500 Cl ⁻ D	1	N.A.
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	12	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1203	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coli-ert SM-9223B	1	N.A.
Color Aparente	UPC	130	Fotométrico Merck	1	N.A.
DBO 5 Total	mg O ₂ / L	3	S.M. 5210 B - ASTM D888-09	2	N.A.
DQO Total	mg O ₂ / L	75	Reflujo Abierto SM-5220 B	5	N.A.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	50	Titulométrico EDTA SM-2340 C	1	N.A.
Fósforo Total	mg P / L	1,04	Colorimétrico AVMF-AA SM-4500 P C-E	0,01	N.A.
Hierro Total	mg Fe / L	0,335	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Fe B	0,003	N.A.
Magnesio Total	mg Mg/L	2,7406	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mg B	0,0006	N.A.
Manganeso Total	mg Mn / L	0,0928	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Mn B	0,0012	N.A.
Mercurio Total	mg Hg / L	N.D.	Absorción Atómica, vapor frío 3112 B-Hg	0,00025	N.A.
Níquel Total	mg Ni/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Ni B	0,004	N.A.
Nitratos	mg NO ₃ -N/L	0,30	Acido Cromotrópico SM [®] -418 D	0,01	N.A.
Nitritos	mg NO ₂ -N/L	0,062	Colorimétrico SM-4500 NO ₂ ⁻ B	0,001	N.A.



BOGOTÁ, D.C. 2013-02-01
LABORATORIO DE AGUAS

2013-0040

LABORATORIO DE AGUAS REPORTE DE RESULTADOS

A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205460	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Sedums	PUNTUAL	AGUA CRUDA

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio () Cliente (x)

D. RESULTADOS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	LEGISLACIÓN
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg N/L	2.3	Macro-Kjeldahl SM-4500 Norg B	0.1	N.A.
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	6.2	Modificación de Azida SM-4500-O C	0.1	N.A.
pH	unidad de pH	7.2	Electrométrico SM-4500 H+ B	0.1	N.A.
Plomo Total	mg Pb/L	N.D.	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Pb B	0.008	N.A.
Sodio Total	mg Na/L	6.713	AA de Llama Directa Aire-Acetileno SM-3111 Na B	0.001	N.A.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	171	SD Secado a 180°C SM-2540 C	1	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	17	SST Secado a 103 - 105 °C SM-2540 D	1	N.A.
Sulfatos	mg SO ₄ =/L	11	Turbidimétrico SM-4500 SO ₄ = E	1	N.A.
Turbiedad	UNT	16.50	Nefelométrico SM-2130 B	0.01	N.A.

E. RESULTADOS DE CAMPO

Muestreador:						
PARÁMETRO	pH	Conductividad	Temperatura Ambiente	Temperatura Agua	Sólidos Sedimentables	Oxígeno Disuelto
Método	Electrométrico SM-4500	SM-2510 B	Termométrico 2550-B Ambiente	Termométrico 2550-B Muestra	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	SM-4500-O C
Unidades	Unidad de pH	µS/cm	°C	°C	mg/L	mg O ₂ /L
Límite de Detección	0.10	1	0.1	0.1	0.5	
Fecha	Hora					



2013-0040

**LABORATORIO DE AGUAS
REPORTE DE RESULTADOS**
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)

2013/02/01

B. CLIENTE

Nombre: Dirección Ingeniería Especializada
Dirección: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - esp

C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora Toma	Fecha Análisis (aaaa/mm/dd)	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Sitio de toma de muestra	Tipo de Muestra	Matriz Analizada
201212170205460	2012/12/14	16:15	2012/12/17	2012/12/17	Cubiertos Verdes - Cub - Verde - Sedums	PUNTUAL	AGUA CRUDA

F. OBSERVACIONES

SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF. Ed. 21. 2005
SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1980

Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.

El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.

El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.

L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.D.=No Detectable, N.A.=No Aplica

Firma Autorizada:

Nombre: MARÍA DE JESUS BARBOSA PARDO

Cargo: RESPONSABLE TÉCNICO - LABORATORIO DE AGUAS

Firma Autorizada:

Nombre: CAROLINA GÓMEZ CASTILLO

Área: MICROBIOLOGÍA

Cargo: PROFESIONAL

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO
FIN DEL DOCUMENTO

